Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 31. Dezember 2010

Effizienzsteigerung im Haushalt durch DigitalSTROM

Auftraggeber:
Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:
ewz, Stromsparfonds, CH-8050 Zürich

Auftragnehmer:
Encontrol AG
Bremgartenstrasse 2
CH-5443 Niederrohrdorf
www.encontrol.ch

Autoren:
Alois Huser, Encontrol AG, alois.huser@encontrol.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser
BFE-Programmleiter: Roland Brüniger
BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153117 / 102468

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 4
2 Abstract 4
3 Projektziele 5
4 Vorgehen und Projektsteuerung 5
5 Konzept und Aufbau von digitalSTROM® 6
6 Test und Messungen der DigitalSTROM-Komponenten 7
6.1 Messkonzept 7
6.2 Eigenverbrauchsmessung 8
6.3 Verifikation der Messgenauigkeit des DigitalSTROM-Systems 8
6.4 Messungen in Wohnobjekten 9
7 Lastgangmessungen bei Wohnobjekten 9
8 Installationsplanung 9
9 Nationale Zusammenarbeit 9
10 Anhänge 10

1 Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Projekt sollte untersucht werden, ob die DigitalSTROM-Initiative einen wesentlichen Einfluss auf den Strombezug der Schweizer Haushalte haben könnte. Von Interesse wären insbesondere der zusätzliche Strombezug der Komponenten, das Sparpotenzial durch intelligente Steuerungsfunktionen und der Einfluss auf die Verbreitung des „intelligenten Wohnens“ in der Schweiz.

Drei Wohnobjekte wurden für eine Versuchsinstallation identifiziert, mit 15-Minuten-Lastgangmessungen ausgerüstet und die Installationsplanung für die digitalSTROM-Ausrüstung abgeschlossen. Auch sind Vereinbarungen über die Mitarbeit an dieser Studie mit Besitzern und Bewohnern der Objekte ausgearbeitet worden.

Messungen an den digitalSTROM-Komponenten und Installationen bei den Wohnobjekten konnten nicht durchgeführt werden, weil der Hersteller keine entsprechenden digitalSTROM-Geräte liefern konnte.

Der Hersteller der digitalSTROM-Komponenten kann voraussichtlich erst im April 2011 marktreife und zertifizierte Komponenten zur Verfügung stellen. Der Funktionsumfang der Komponenten dürfte aber nicht dem zum Projektbeginn vorgesehenen Stand entsprechen. Daher wurde entschieden, dass Projekt abzubrechen. Das Bundesamt für Energie ist aber offen für einen späteren Neuanfang unter besseren Voraussetzungen.

2 Abstract

With the project it should be examined if the “DigitalSTROM“ - initiative could have a substantial influence on the electricity consumption of Swiss households. From particular interest are the additional electricity consumption of the components, the potential savings by intelligent control functions and the influence on the spreading of “intelligent living” in Switzerland. Three apartments were identified for a trial installation and equipped with 15-minutes power meter reading. The installations for the digital equipment had been planned. Also agreements with owners and inhabitants were prepared about the cooperation at this study. The measurements of the electronic components and installations could not be accomplished, because the manufacturer could not supply appropriate electronic devices. The manufacturer of the digital electronic components can presumably only provide certified and market ready products in April 2011. The function range of the components might however not correspond to the conditions planned at the start of the project. Therefore the responsible decided to cancel the project. The Swiss Federal Office of Energy (SFOE) remains unsettled for a new start under better conditions.

3 Projektziele

Mit dem vorliegenden Projekt soll anhand einer Versuchsinstallation untersucht werden, ob die DigitalSTROM-Initiative einen wesentlichen Einfluss auf den Strombezug der schweizerischen Haushalte haben kann. Dabei sind drei Bereiche zu untersuchen:

- Zusätzlicher Strombezug für die DigitalSTROM-Installation.
- Wesentliche Einflüsse von DigitalSTROM auf die Verbreitung von Home-Automation in der Schweiz.
- Sparpotenzial durch die intelligenten Steuerungsfunktionen von DigitalSTROM.

Um Aussagen zu diesen Themen zu erhalten, werden maximal drei Wohnungen komplett mit DigitalSTROM-Chips ausgerüstet und über ein vollständiges Kalenderjahr von den Bewohnern betrieben. Aus der Installation und dem Betrieb der Einrichtungen ergeben sich folgende Teilziele:

- Sammeln von Erfahrungen bei der Planung für den Einsatz des DigitalSTROM Chips. Erkennen der für die Installation erforderlichen Vorbereitungsarbeiten, resp. identifizieren der für einen zweckmässigen Einsatz erforderlichen Voraussetzungen.
- Sammeln von Erfahrungen bei der Installation und Inbetriebnahme des DigitalSTROM Chips unter verschiedenen Umständen und unter verschiedenen Installationsbedingungen.
- Erkennen der möglichen Funktionen des DigitalSTROM Chips für die Energieeffizienz.
- Betreiben der gesamten Infrastruktur über mindestens 1 Jahr.
- Messen des Stromverbrauchs aller für den Einsatz des DigitalSTROM Chips erforderlichen Systemkomponenten, um darzulegen, welcher Strommehrverbrauch durch den Einsatz des DigitalSTROM Chips verursacht wird.
- Identifikation von allfälligen Inputs für die Weiterentwicklung des DigitalSTROM Chips, speziell im Hinblick auf die Energieeffizienz.

4 Vorgehen und Projektsteuerung

Das leitendes Organ (Steering Committee) aus je einem Vertreter des Bundesamtes für Energie (BFE), dem ewz-Stromsparfonds, der DigitalSTROM-Organisation und der Projektleitung tagte mehrere Male zur Begutachtung der Projektfortschritte und der Ergebnisse.

Drei reale Wohnobjekte wurden zum Test der digitalSTROM-Komponenten ausgewählt. Sie umfassen ein breites Spektrum von Wohnformen und Bevölkerungsschichten:

- Objekt 1: Einfamilienhaus mit vierköpfiger Familie
- Objekt 2: Doppeleinfamilienhaus mit einer alleinstehenden älteren Person
- Objekt 3: Wohnung in Mehrfamilienhaus mit zwei jungen Bewohnern

Die Projektleitung erstellte Mitte 2008 eine Projektspezifikation und definierte das geplante Vorgehen (Anhang 1). Darin enthalten war auch ein Messkonzept.

Seit der ersten Projektidee im September 2007 ist es zu beträchtlichen Verzögerungen bei der Bereitstellung der DigitalSTROM-Komponenten gekommen. Ursprünglich war der Beginn des Mess- und Probebetriebes auf den 1. Oktober 2008 vorgesehen. Im Herbst 2009 hat das Steering Commitee beschlossen, das Projekt wegen den andauernden Lieferschwierigkeiten der erforderlichen Komponenten bis auf weiteres zu sistieren. Sobald die folgenden Bedingungen erfüllt sind, würde das Projekt wieder aufgenommen:

- Es liegen genügend Komponenten der Chip-Serie 11 für Messungen und Installationen vor, welche auch die Strommessung ermöglichen.

– Die Komponenten sind bezüglich Sicherheit zertifiziert oder es liegen mindestens Prüfprotokolle vor, welche dem ESTI vorgelegt werden können, und die das ESTI für die Installation akzeptiert.
– Die Steuerungs- und Auswertsoftware ist zur Anwendung bereit.

Der Hersteller der digitalSTROM-Chips (Firma aizo AG) hat im Herbst 2010 angekündigt, dass erst im April 2011 marktreife und zertifizierte Komponenten zur Verfügung stehen werden. Der Funktionsumfang der Komponenten wird aber nicht dem zum Projektbeginn vorgesehenen Stand entsprechen. Daher hat das Bundesamt für Energie im Herbst 2010 entschieden, dass Projekt abzubrechen. Das Bundesamt für Energie ist aber offen für einen späteren Neuanfang unter besseren Voraussetzungen.

5 Konzept und Aufbau von digitalSTROM®

Das Ziel von digitalSTROM® ist, elektrische Geräte auf einfache Art und Weise miteinander zu vernetzen. Damit wird der Stromverbrauch sicht- und messbar. Geleichzeitig können die elektrischen Geräte zentral gesteuert werden (ein-, ausschalten, dimmen, verschiedene Lichtstimmungen auf Tastendruck abrufen, die Jalousien heben und senken usw.).

In der Non-Profit-Organisation „digitalSTROM.org“, die 2007 an der ETH Zürich gegründet wurde, wird versucht, die erfundene Technologie zu einem weltweiten Standard zu entwickeln (http://www.digitalSTROM.org). Der digitalSTROM.org obliegt das Management der technologischen Weiterentwicklung, die Zertifizierung von Produkten, die Definition der Standards für Hard- und Software sowie Nutzerinteraktion. Darüber hinaus dient die Organisation der Vernetzung ihrer Mitglieder.
Über einen direkt in die Geräte, in der Steckdose oder in einem Zwischenstecker verbauten Chip „dSID“ können elektrische Geräte miteinander kommunizieren (Bild 5.1). Von diesem Chip zum sogenannten digitalSTROM-Meter „dSM“ (pro Stromkreis ein Stück) funktioniert die Kommunikation über das bestehende 230-V-Stromnetz. Der dSM übernimmt neben der Kommunikation zum dSID auch die Verbrauchsmessung der elektrischen Verbraucher. Über einen 2-Draht-Bus sind die digitalSTROM-Meter mit einem digitalSTROM-Server „dSS“ verbunden. Dieser bedient sich offener Protokolle und lässt sich ins Internet einbinden.

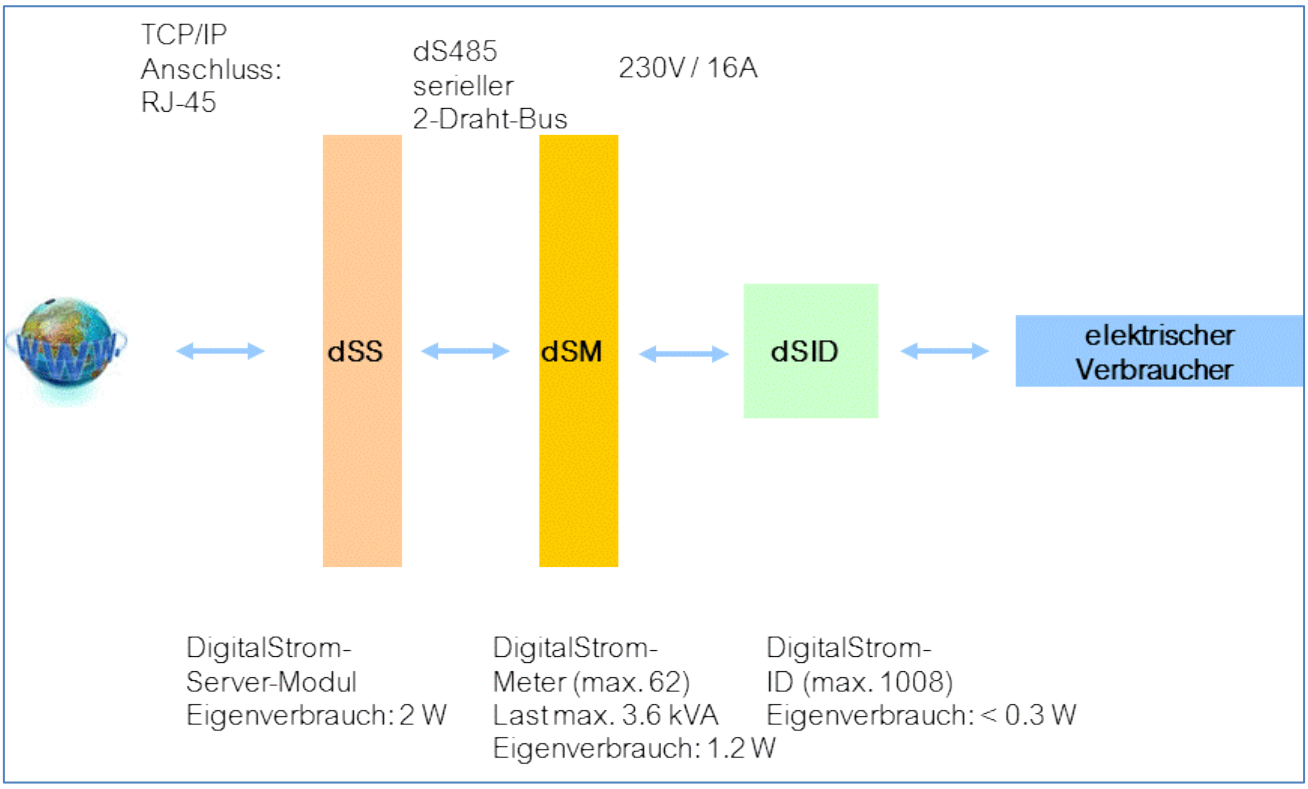


Bild 5.1 Übersicht über den Aufbau der digitalSTROM-Komponenten

6 Test und Messungen der DigitalSTROM-Komponenten

Bei den digitalSTROM-Komponenten lagen während der Projektbearbeitung noch keine Zertifikate oder Prüfprotokolle vor. Gemäss Stellungnahme des eidgenössischen Starkstrominspektorats (ESTI) muss der Hersteller für die Inverkehrsetzung gemäss der NEV eine Konformitätserklärung abgeben und Prüfberichte vorlegen. Insbesondere konnte nicht geklärt werden, wie der Überlastschutz bei den digitalSTROM-Komponenten technisch gelöst und gewährleistet wird.

6.1 Messkonzept

Es wurde ein Messkonzept erstellt. Dabei sind grosse Schwierigkeiten aufgetreten, da keine schriftliche Information über das interne Messprinzip im DigitalSTROM-System vorlag (Anhang 2).

Am Ende des Projektes müssen für jedes untersuchte Wohnobjekt die folgenden Informationen zur Verfügung stehen:

- Haushaltstrombezug total, sowohl für die Dauer des Mess- und Probebetriebes, sowie für zwei bis drei Vorjahre
- Haushaltstrombezug für die Dauer des Mess- und Probebetriebes, aufgeteilt in die verschiedenen Verbrauchergruppen gem. Spezifikation (Licht, Unterhaltungselektronik, Grossgeräte etc.).
- Mehrverbrauch, verursacht durch die DigitalSTROM-Komponenten
- Gemessene und berechnete Einsparungen durch intelligente Steuerungsfunktionen des DigitalSTROM-Systems.

Der totale Haushaltstrombezug kann anhand des normalen Elektrozählers bestimmt werden.

Die Aufteilung auf die verschiedenen Verbrauchergruppen sollte anhand der internen Messung im DigitalSTROM-System erfolgen. Dazu muss vorgängig die Genauigkeit dieser Messung in den verschiedensten Betriebszuständen überprüft werden.

Zum Messkonzept gehört auch ein Konzept für das periodische Auslesen, Sichern und Plausibilisieren der Daten. Dabei sollte insbesondere das Total der, vom DigitalSTROM-System erfassten Verbrauschwerte, mit dem totalen Verbrauch gemäss Zähler verglichen werden.

Der Eigenverbrauch der DigitalSTROM-Komponenten wird bestimmt, indem im Labor jede Komponente ausgemessen und anschliessen der Verbrauch pro Haushalt hochgerechnet wird.

Beide Messungen, die Eigenverbrauchsmessung, sowie die Verifikation der Messgenauigkeit, sind mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, die im Folgenden umrissen werden.

6.2 Eigenverbrauchsmessung

Der Eigenverbrauch teilt sich in zwei Komponenten auf:

- dauernde, lastunabhängige Leistungsaufnahme
- lastabhängige Leistungsaufnahme bei eingeschalteter Last

Die dauernde, lastunabhängige Leistungsaufnahme stellt keine besonderen Anforderungen an die Messausrüstung. Der Messbereich am Messgerät kann so gewählt werden, dass eine gute Auflösung der Messgrössen (Strom und Spannung) möglich ist.

Der lastabhängige Anteil stellt dagegen grosse Anforderungen an die Messausrüstung einer Differenzmessung. Betrachtet man z.B. einen Dimmer, so setzt sich die Leistung am Eingang zusammen aus dem Eigenverbrauch des Dimmers plus der Leistung der angeschlossenen Lampe. Am Ausgang wird die Lampenleistung gemessen. Bei einer 150 Watt-Halogenlampe bedeutet das 150 Watt am Ausgang des Dimmers und ca. 150,3 Watt am Eingang (150 Watt plus Eigenverbrauch des Dimmers von 0,3 Watt). Damit nun aus der Differenz mit genügender Genauigkeit der Eigenverbrauch bestimmt werden kann, muss jede einzelne Messung mit einer Genauigkeit von ca. 0,05 Watt oder bezogen auf den Messbereich von 150 Watt auf weniger als 0,5 Promille Genauigkeit gemessen werden. In einer Voruntersuchung der Hochschule Luzern wurden Leistungsmessungen mit einem mehrkanaligen Leistungsmessgerät durchgeführt (Anhang 3). Zur einfacheren Bedienung wurde ein Leistungsprüfstand hergestellt, mit welchem die verschiedenen Messungen durchgeführt wurden. Die geforderte Genauigkeit, einen Dimmer mit einer Last von ca. 150 W auf +- 25mW auszumessen, wurde erreicht.

6.3 Verifikation der Messgenauigkeit des DigitalSTROM-Systems

Das Datenblatt des dSM-Bausteines enthielt nur sehr wenige Angaben. Insbesondere fehlten die folgenden Informationen:

- Wo erfolgt die Zuordnung von gemessenen Verbrauchswerten zu den angeschlossenen Geräten?
- Wo werden die Momentanmessungen zu fortlaufenden Zählerständen summiert?
- Wie reagiert das System auf komplexe Situationen (mehrere Geräte schalten kurz nacheinander)?
- Wie genau ist die Messung bei grossen Lastveränderungen (Grossgerät ausschalten, Sprung von 1'000 Watt auf 5 Watt Standby)?

Ein detailliertes Messkonzept hätte erst erstellt werden können, wenn die Funktionsweise der internen digitalSTROM-Messung uns bekannt gegeben worden wäre.

6.4 Messungen in Wohnobjekten

Es war vorgesehen, in den Wohnobjekten die interne Messung weiter zu verifizieren, speziell auch mit Verbrauchern, die im Labor nur schwer zu beschaffen währen.

Es sollten Stichprobenmessungen von einzelnen Verbrauchern über je eine Woche erfolgen und mit dem intern erfassten Verbrauch und Lastgang (Messung vorzugsweise mit EMU mit Datenlogger) verglichen werden:

- Licht: je eine Glühlampe, Halogenlampe, Sparlampe, Leuchtstoffröhre; Lampen dimmen
- Unterhaltungselektronik: je eine Röhren-TV und ein LCD-TV
- Wenn möglich eine Settop-Box
- Audio: eine komplette Stereoanlage
- ein PC mit Bildschirm, Energiemanagement in Betrieb
- ein Kühlschrank
- ein Wäschetrockner, Waschmaschine, Backofen oder Herd mit Standby

Der Hauptzähler sollte an das DigitalSTROM-System angekoppelt werden. Die Innentemperatur würde pro Objekt in je einem Wohn- und einem Schlafraum erfasst.

7 Lastgangmessungen bei Wohnobjekten

Während anderthalb Jahren wurden bei den drei Wohnobjekten der Lastgang des Strombezugs (15-Minuten-Intervall) gemessen. Diese Daten sollten als Vergleichswerte dienen, wenn am Ende des einjährigen Messbetriebes die Einsparungen, die sich allenfalls durch das DigitalSTROM-System ergeben, beurteilt werden. Bei einem Wohnobjekt konnte als Nebeneffekt im Sommer 2009 dank diesen Messresultaten bereits eine Effizienzverbesserung bei einer Heizanlage realisiert werden.

8 Installationsplanung

Die Installationsplanung für die digitalSTROM-Ausrüstung wurde für alle 3 Wohnobjekte abgeschlossen (Anhang 4). Mit den Besitzern und Bewohnern wurden auch Vereinbarungen für den Betrieb der digitalSTROM-Ausrüstung erarbeitet.

Messungen an den digitalSTROM-Komponenten und Installationen bei den Wohnobjekten wurden nicht durchgeführt, weil der Hersteller keine digitalSTROM-Komponenten liefern konnte.

9 Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt wird vom ewz-Stromsparfonds finanziell unterstützt und auch personell im Rahmen des Steering Committees begleitet.

Das *Swiss Research Center for Smart Living (CEESAR)* der Hochschule Luzern (HSLU) übernahm Messaufgaben (Anhänge 1 und 2). Das CEESAR wurde 2004 gegründet und versteht sich als Technologie neutrale Plattform mit dem Schwergewicht auf *Eingebettete Systeme* in der Gebäudeumgebung und im *Intelligenten Wohnen*.

Die Firma „R+B engineering AG“ plante die Installationen in den drei Wohnobjekten, welche mit digitalSTROM-Komponenten ausgerüstet werden sollten.

10 Anhänge

1) Th. Grieder, Encontrol AG: Spezifikation: Effizienzsteigerung im Haushalt durch digitalSTROM®, Juni 2008, digitalSTROM_spezifikation_v10.pdf
2) Rolf Wettstein, Dr. André Aregger, iHomeLab der Hochschule Luzern: Messkonzept der digitalSTROM® Komponenten, Horw, 2008, digitalSTROM_iHomeLab_Messkonzep.pdf
3) Rolf Wettstein, Dr. André Aregger, iHomeLab der Hochschule Luzern: Voruntersuchung: Eigenverbrauchsmessung von digitalSTROM®-Komponenten, Horw, 2008, digitalSTROM_iHomeLab_Eigenverbrauch.pdf
4) Beispiel einer Installationsplanung, R+B engineering AG, Sargans, 2009, digitalSTROM_beispiel_planung.pdf

Encontrol AG
Bremgartenstrasse 2
CH-5443 Niederrohrdorf
Dienstleistungen für energiewirtschaftliche Optimierungen

Telefon +41 56 485 90 44
Telefax +41 56 485 90 45
E-Mail info@encontrol.ch
Internet www.encontrol.ch

Spezifikation: Effizienzsteigerung im Haushalt durch *digitalSTROM®*

Datum: 30. 06. 2008

Verfasser/in: Thomas Grieder

Revision:

Versions-Nr.	Datum	Autor	Hauptsächliche Änderungen
0.0	23. Mai 2008	T. Grieder	Entwurf
1.0	30. Juni 2008	T. Grieder	Terminverschiebung um 3 Monate

©Encontrol AG

Inhaltsverzeichnis

1 Zweck der Spezifikation 2
2 Voraussetzung 2
3 Planungs- und Vorbereitungsphase 4
4 Installations- und Inbetriebnahmephase 9
5 Mess- und Probebetrieb 11
6 Demontage 14
7 Auswertung / Schlussbericht 14
8 Anhang: Terminübersicht (2 Seiten) 16

1 Zweck der Spezifikation

Im vorliegenden Dokument wird das Projekt im Detail spezifiziert und für alle am Projekt beteiligten verbindlich festgelegt.

Die Spezifikation legt für jede Projektphase die folgenden Punkte fest:

- Übergeordnete Zielsetzung pro Phase
- Zu erbringende Leistungen
- Erwartete Resultate
- Benötigte Mittel
- Zeitplan pro Phase

Eine Terminübersicht ist im Anhang beigefügt.

2 Voraussetzung

2.1 Sicherheit

Im Verlauf des vorliegenden Projektes werden Eingriffe an der 230 V-Installation von Wohnobjekten vorgenommen. Für solche Arbeiten gelten die Bestimmungen der Niederspannungsverordnung (NIV vom 7. November 2001). Installationsarbeiten in Wohnräumen dürfen nur von Personen ausgeführt werden, die über eine Installationsbewilligung verfügen (Art. 6 NIV). Ausgenommen sind einzig Arbeiten an einphasigen Lampen- und Steckdosenkreisen mit vorgeschalteten Überstrom- und Fehlerstromschutzeinrichtungen (Art. 16 NIV) in selbst bewohnten Wohnräumen.

Alle am Projekt beteiligten Personen müssen mit diesem Sachverhalt bekannt gemacht werden. Mit der vorliegenden Spezifikation werden die Verantwortlichen der Hochschule Luzern (Prof. A. Klapproth) und der Digitalstrom-Organisation (Prof. Hovestadt) informiert, die ihrerseits die Beteiligten ihrer Organisationen unterrichten.

Die eingesetzten Digitalstromkomponenten werden nicht über eine CE-Zertifizierung verfügen. Stattdessen soll die Aizo AG eine Konformitätserklärung erstellen, die angibt nach welchen Normen die Komponenten entwickelt wurden.

Bei den Bewohnern resp. den Eigentümern muss die Einwilligung eingeholt werden, dass nicht zertifizierte Komponenten eingesetzt werden. Es muss sichergestellt werden, dass die kantonalen Gebäudeversicherungen ihre Leistungen auch mit diesen Komponenten erbringen und die Elektrizitätsversorgungsunternehmen müssen informiert werden.

2.2 Kostenaufteilung

Das Bundesamt für Energie (BFE) finanziert die Arbeiten der Hochschule Luzern und der Encontrol GmbH. Die Aufwendungen der Digitalstrom-Organisation, insbesondere die ganze Installation in den Wohnobjekten und im iHomeLab inklusive der notwenigen Komponenten für eine Anbindung an das Internet und für eine Zählerfernauslesung, sowie für eine vorschriftsmässige Abnahme der Installationen, werden durch die Digitalstrom-Organisation übernommen.

Sollten im Verlauf des Projektes Software- und/oder Hardware-Anpassungen an den bereits installierten Komponenten notwendig sein, so werden diese mit der Projektleitung abgesprochen und ebenfalls von der Digitalstrom-Organisation auf deren Kosten durchgeführt und dokumentiert.

Weitere Messgeräte für Messungen in den Objekten und im iHomeLab werden von der HSLU und der Encontrol GmbH zur Verfügung gestellt, beschafft oder gemietet.

2.3 Verfügbarkeit der Komponenten

Im heutigen Zeitpunkt muss davon ausgegangen werden, dass für den Dauerbetrieb noch nicht die volle Funktionalität des Digitalstrom-Systems zur Verfügung stehen wird. Nur die folgenden Farb-Codes der Steuer-Chips (dSID) werden bereitstehen:

- Gelb Beleuchtung (für Leuchten und dazugehörige Bedienelemente)
- Grau Beschattung (für Jalousiemotoren und dazugehörige Bedienelemente)
- Blau Heizung (Verstellantriebe für Heizkörperventile und Temperaturfühler)
- Grün Zugang (Türöffner)
- Zusätzlich werden Schaltpunkte zur Verfügung stehen
- Weiss Weisse Ware (im Verlauf des Jahres 2009)
- Smart Meter Zähler mit Auswertungssoftware und Fernauslesung

2.4 Komplexe Steuerungsfunktionen

Intelligentes Wohnen bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Energieeinsparung, die in den bisher untersuchten Objekten nur selten realisiert waren. Einer der Schwerpunkte des vorliegenden Projektes liegt darin, das Potenzial der Digitalstrom-Technik in dieser Hinsicht festzustellen. Es ist daher unabdingbar, dass zu mindest die folgenden Funktionen in den Wohnobjekten realisiert werden:

- Heizung absenken bei Abwesenheit, Wiederanhebung von fern vor der Rückkehr
- Boiler aus bei Abwesenheit, Einschalten von fern vor der Rückkehr
- Nachts und bei Abwesenheit alle Standby-Verbraucher vom Netz trennen (sofern die normale Funktionalität nicht beeinträchtigt ist, z.B. Verlust von Voreinstellungen, Verlust der Zugriffsberechtigung bei Settop-Boxen, etc.)

2.5 Messkonzept

Das Messkonzept basiert auf den folgenden Grundüberlegungen:

- Eine detaillierte Untersuchung der Digitalstrom-Komponenten geschieht im iHomeLab der HSLU. Dort wird der Eigenbedarf der Komponenten gemessen und die Genauigkeit der integrierten Energiemessung wird in allen Betriebszuständen überprüft.
- In den Wohnobjekten wird in erster Linie der totale Verbrauch und der Lastgang am Hauptzähler erfasst. Der Strombezug der verschiedenen Verbrauchergruppen wird durch die integrierte Messung des Digitalstrom-Systems erfasst.
- Weitere permanente Messpunkte in den Wohnobjekten sind nicht notwendig (evtl. Ausnahme Messfühler für Temperatur).

3 Planungs- und Vorbereitungsphase

3.1 Testbetrieb

Ziel: Feststellen, ob die Funktionalität der Digitalstrom-Komponenten den Anforderungen des Projektes genügen.

Ort: iHomeLab der HSLU.

Messaufbau:

- 1 Stück dSS Server
- 1 Stück dSM Koppler
- 2 Stück dSID-Chip gelb für Beleuchtung (1 x Schalter, 1 x Lampe)
- 2 Stück dSID-Chip blau für Heizungssteuerung (1 x Fühler, 1 x Ventilsteuerung)
- 1 – 2 Stück dSID-Chip als Schaltpunkt (1 x geschaltete Steckdose, 1 x Schalter?)
- 1 Messfühler für Heizungssteuerung (Typ, Spezifikation?)
- PC mit Ethernet-Schnittstelle für Visualisierungs- und Auswertungssoftware

Die Visualisierungs-SW von Yello soll ebenfalls getestet werden.

Lasten:

- Glühlampe (60 W), Halogenlampe (200 W), Sparlampe (15 W)
- Zweiter PC mit Bildschirm als Last

Tests:

- Aufbau in Betrieb nehmen, konfigurieren
- Lampen über Taster ein- und ausschalten
- PC-Last über Taster/Zeitprogramm/Internet ein- und ausschalten
- Funktion Heizungssteuerung?

Messungen

- Leistungsaufnahme der Digitastrom -Komponenten mit Momentanmessung bestimmen
- Genauigkeit der Energiemessung des Digitalstrom-Systems überprüfen mit EMU. Messung von Halogen- und Sparlampe sowie PC mit Bildschirm. Messung jeweils über ca. 1 Stunde.
- Erfassung Lastverläufe überprüfen
    - Lampen dimmen und schalten, Verbrauch und Verlauf mit EMU kontrollieren (Ausführung mit Datenlogger)
    - PC auslasten, Normalbetrieb unbelastet, Standby, Ruhezustand, Aus. Verbrauch und Verlauf mit EMU kontrollieren (Ausführung mit Datenlogger)
    - PC und Lampen in verschiedenen Sequenzen schalten, Verbrauch und Verlauf an einem Verbraucher mit EMU (Ausführung mit Datenlogger) kontrollieren.

Resultate:

- Encontrol und HSLU haben erste Erfahrungen im Umgang mit dem Digitalstrom -System gesammelt.
- Aktueller Stand der Funktionalität bekannt
- Entscheidungsgrundlagen für Start der einjährigen Messphase vorhanden
- Genauigkeit der internen Messung bekannt

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Bereitstellung Komponenten	20. Okt. 2008	digitalSTROM.org
Messaufbau	22. Okt. 2008	Encontrol
Tests und Messungen	23./24. Okt. 2008	Encontrol/HSLU
Bericht an das Steering Commitee	21. Nov. 2008	Encontrol

3.2 Definition der Wohneinheiten

Ziel: Festlegung von 1 bis maximal 3 Wohneinheiten für den Dauerbetrieb. Feststellen, ob es grundsätzliche Kriterien für die Eignung des Digitalstrom-Systems gibt.

Die Wohneinheiten werden nach der Startsitzung vom 5. Juni 2008 und nach Vorliegen der verschiedenen Vorschläge durch das Steering Commitee festgelegt.

Kriterien:

- Nicht zu viele Verbraucher, Digitalstrom-Komponenten werden immer noch von Hand gefertigt und sind teuer, daher eher Wohnung und nicht Villa oder grosses Einfamilienhaus.
- Breitband-Internetanschluss und PC vorhanden
- Genügend Platz im Hauptverteiler
    - Pro Sicherungsautomat ein zusätzlicher Signalkoppler dSM
    - Zusätzlicher Platz für den Server dSS (oder aufgesteckt auf den Zähler)
    - Hauptzähler mit Steckplatz für dSS oder zusätzlich neuen Zähler einbauen
- Bereitschaft der Bewohner für Mitarbeit, minimales technisches Verständnis (z.B. notwendige Konfiguration beim Einstecken einer neuen Lampe, eines neuen Gerätes), Toleranz für gewisse Unannehmlichkeiten (Messungen im Haus, SW-Update, evtl. Fehlfunktionen).
- Bereitschaft für Arbeiten am Hauptverteiler (vollumfängliche Kostenübernahme für Material, Arbeit und Abnahme durch digitalSTROM.org)
- Anbindung von Heizung und Brauchwarmwasser (BWW) möglich:
    - Einbau von Antrieben bei der Wärmeverteilung möglich (Heizkörper mit Thermostatventile, Bodenheizungsverteiler zugänglich und genügend gross)
    - Heizungssteuerung mit potentialfreiem Eingang für Absenkbetrieb
    - Steuerschütz für BWW-Erwärmung (elektrische BWW Erwärmung) oder potentialfreier Kontakt für Sperrung BWW-Erwärmung (BWW Erwärmung über Heizung)

Vorzugsweise ein Altbau und ein Neubau

3.3 Istaufnahme

In den ausgewählten Wohnobjekten soll vor dem Projektstart die energetische Istsituation erfasst werden. Allerdings muss einschränkend erwähnt werden, dass es im Rahmen dieses Projektes nicht möglich ist, den jährlichen Strombezug auch nur für die wichtigsten Verbraucher mit einer guten Genauigkeit zu messen. Die Anzahl der relevanten Geräte[1] ist zu gross und zudem sind die

[1] Für den Haushaltverbrauch relevante Einzelgeräte und Verbrauchergruppen sind: Elektroboiler, Kochherd, Backofen, Geschirrspüler, Kühlschrank, Gefriergerät, Waschmaschine, Tumbler, Lampen, Unterhaltungselektronik und Heimbüro.

meisten Verbraucher starken saisonalen Schwankungen unterworfen. Die Messungen müssten über ein Kalenderjahr erfolgen.

Stattdessen soll der Verbrauch anhand der Energierechnungen, wenn möglich über mehrere Jahre, erfasst werden. Parallel dazu müssen wesentliche Anschaffungen oder Änderungen im Benutzungsverhalten erfragt werden (andere Erwerbstätigkeit, Familienzuwachs usw.).

Erhebung:

- Strom- und Brennstoffrechnungen (Gas/Heizöl) von mindestens einem Kalenderjahr, besser von 3 Kalenderjahren erfassen.
- Anschaffung von Geräten in diesem Zeitraum
- Änderungen im Benutzerverhalten.

3.4 Installationskonzept

Das Installationskonzept wird von der R+B engineering ag erstellt und soll eine reibungslose Installation der Digitalstromkomponenten in den Wohnobjekten ermöglichen. Zugleich werden Erfahrungen bei der Planung von Digitalstrom-Installationen gesammelt und dokumentiert.

Zusätzlich ist für die Installation im HomeLab der HSLU ein Installationskonzept zu erstellen.

Resultate:

- Vollständige Liste der notwendigen Digitalstrom-Komponenten pro Objekt
- Vollständige Liste der zusätzlich notwendigen Komponenten pro Objekt, wie Antriebe für Heizkörperventile, Elemente zur Anbindung an das Internet, PC für die Visualisierung im Objekt etc.
- Beschreibung der geplanten Funktionen der Digitalstrom-Installation, evtl. Spezifikation von zusätzlich zu programmierenden oder konfigurierenden Funktionen (Zeitschaltuhren, Zentral-Aus etc.)
- Liste mit Tipps für die Planung einer Digitalstrom-Installation

Bei der Erhebung in den Wohnobjekten sind die folgenden Punkte zu beachten:

- Auf zusätzliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch Intelligente Steuerungsfunktionen achten.
- Sollen Steckdosen geschaltet werden? Alle Abgänge einer Dose oder nur einer? (Vermeidung von Standby-Verbrauch)
- Können Steckdosen einer Verbraucher-Kategorie zugeordnet werden? Es ist eines der Projektziele, den Strombezug mit der internen Messung in die folgenden Verbrauchskategorien aufzuteilen:
    - Weisse Ware
    - Beleuchtung
    - Informations- und Kommunikationstechnologie, inkl. Tv ,Audio, Video
    - Heizung und Klima
    - Pflege
    - Kaffeemaschinen und Kleingeräte
    - Brauchwarmwasser
    - Elektrische Raumheizung, Wärmepumpe
    - Diverses: Nicht einer der vorliegenden Kategorien zuzuordnenden Stromverbraucher

Vorgeschlagene Hilfsmittel:

- Erfassungsliste für Lampen, Steckdosen, Schaltpunkte etc. vorbereiten
- Foto Hauptverteiler machen

Termine:

Das Installationskonzept wird nach festlegen der Wohneinheiten durch die HSLU erstellt.

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Abgabe Installationskonzept an die Projektleitung	26. Sept. 2008	R+B engineering ag

3.5 Messkonzept

Das Messkonzept wird von der HSLU erstellt. Es soll sicherstellen, dass bei der Installation der Komponenten alle notwendigen Messeinrichtungen eingebaut werden, die für das Erreichen der Projektziele notwendig sind.

3.5.1 Labormessungen

Im iHomeLab wird der Eigenbedarf aller Komponenten des Digitalstrom-Systems gemessen. Der Einfluss verschiedener Lasten auf den Eigenverbrauch soll ebenfalls untersucht werden (induktive Last, kapazitive Last, einfache Netzteile, Schaltnetzteile). Bei den Dimmern wird der Eigenverbrauch in Abhängigkeit von der angeschlossenen Last gemessen.

Im zweiten Schritt wird die Genauigkeit der integrierten Verbrauchsmessung unter verschiedensten Bedingungen untersucht:

- Genauigkeit bei verschiedenen Lasten (induktiv, kapazitiv, einfache Netzteile, Schaltnetzteile).
- Korrekte Erfassung bei mehreren Verbrauchern an einem dSM, unterschiedliche Schaltsequenzen
- Korrekte Erfassung von tiefen Standby-Verbrauchswerten bei Grossgeräten (z.B. Tumbler, Backofen)

Option (nicht im Rahmen des Angebotes): Es wäre von Interesse, die Brennbedingungen bei gedimmtem Betrieb von Sparlampen und Fluoreszenzleuchten zu untersuchen.

3.5.2 Messungen in Wohnobjekten

- Hauptzähler an das Digitalstrom-System ankoppeln
- Stichprobenmessungen von einzelnen Verbrauchern über je eine Wochen, Vergleich mit dem intern erfassten Verbrauch und Lastgang (Messung vorzugsweise mit EMU mit Datenlogger)
    - Licht: je eine Glühlampe, Halogenlampe, Sparlampe, Leuchtstoffröhre; Lampen dimmen
    - Unterhaltungselektronik: je eine Röhren-TV und ein LCD-TV
    - Wenn möglich eine Settop-Box
    - Audio: eine komplette Stereoanlage
    - ein PC mit Bildschirm, Energiemanagement in Betrieb
    - ein Kühlschrank
    - ein Tumbler, Waschmaschine, Backofen oder Herd mit Standby
- Innentemperatur pro Objekt in je einem Wohn- und einem Schlafraum erfassen.

Zum Messkonzept gehört auch ein Konzept für das periodische Auslesen, Sichern und Plausibilisieren der Daten. Dabei soll insbesondere das Total der, vom Digitalstrom-System erfassten Verbrauschwerte, mit dem totalen Verbrauch gemäss Zähler verglichen werden.

Resultate:

- Konzept für die Labormessungen
- Konzept für die Messungen in den Objekten
- Konzept für Auslesung, Sicherung und Plausibilisierung der Daten

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Abgabe Messkonzept an die Projektleitung	22. August 2008	HSLU

3.6 Anzeige-Tool

Parallel zu der Erfassung mit zusätzlich installierten Messgeräten wird von *Digitalstrom* ein einfaches Tool zur Verfügung gestellt, mit dem der Verbrauch auf Stufe Einzelverbraucher und auch aggregiert graphisch und in Zahlen ablesbar ist. Dazu gehört nicht nur ein Online-Wert, sondern auch die graphische Darstellung der Vergangenheit. Vorzugsweise erfolgt diese Darstellung über einen Web-Browser, die Daten sollen nicht nur von den Bewohnern, sondern auch über das öffentliche Netz durch Dritte (mit Passwort) abrufbar sein.

Gemäss Prof. Hovestadt kann dafür ein Tool der Fa. Yello (Deutschland) verwendet werden.

Es wird vorausgesetzt, dass das Tool neben der Darstellung der einzelnen Verbraucher die Möglichkeit bietet, die Verbrauchswerte analog der *VSE-Studie*[2] von 2005 in die folgenden Hauptkategorien zusammenzufassen:

- Weisse Ware: Kochherd, Backofen, Steamer, Mikrowellengerät, Kühlschrank, Gefrierer, Waschmaschine, Trockner, Geschirrspülmaschine.
- Beleuchtung: Dies umfasst die gesamten Einrichtungen zur Erzeugung von künstlichem Licht.
- IKT (Informations- und Kommunikationstechnologien): Fernseher, Videogerät, Audiogeräte, DVD, PC, Server, Drucker, Homegateway und/oder Set-Top Box, Telefon mit Netzgerät, allfällige USV etc.
- Heizung und Klima: „Elektro-Öfeli“, Luftbefeuchter, Heizungshilfsbetriebe, Heizstrahler, etc.
- Pflege: Fön, Staubsauger, Zentralstaubsauger, Closomat, Sauna, Schwimmbad, Fitness, Wasserbett, Whirlpool etc.
- Kaffeemaschinen und Kleingeräte:
- Warmwasser: Elektroboiler, Wärmepumpenboiler
- Allfällige Elektroheizung, Wärmepumpe
- Diverses: Nicht einer der vorliegenden Kategorien zuzuordnenden Stromverbraucher

Heizöl/Erdgas-Verbrauch monatlich per Handablesung erfassen, wenn möglich in das gleiche Tool eintragen. Alternative: Energiebuchhaltungsprogramm CEBU oder CEBU-Web der Encontrol AG. 2 – 3 Vorjahre erfassen.

---

[2] Grieder T. & Huser A. (2005): *VSE Stromverbrauchserhebung 2005*, *Encontrol GmbH* im Auftrag des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen *VSE*, Aarau, 2005. Resultate publiziert im Bulletin SEV/VSE 4/2006.

4 Installations- und Inbetriebnahmephase

Nach Abschluss der Vorbereitungsphase und mit dem Vorliegen der Digitalstrom-Komponenten sind diese gemäss Installationskonzept zu installieren und in Betrieb zu nehmen. Diese Leistung wird durch die Firma Aizo AG, Schweiz organisiert und auf deren Kosten durchgeführt.

Die Installation wird durch die HSLU und die Encontrol begleitet. Damit soll die HSLU das notwendige Know How für die Betreuung der Bewohner während der Betriebsphase aufbauen. Andererseits werden die, während der Installation gewonnenen, Erfahrungen in die Empfehlungen des Schlussberichtes einfliessen.

Resultate:

- Funktionsfähige Digitalstrom-Installation in den Wohnobjekten und im iHomeLab
- Dokumentation zu den Installationen
- Erkenntnisse für den Schlussbericht

4.1 Installation der Digitalstrom-Komponenten

Installation, Konfiguration und Inbetriebnahme der Komponenten erfolgen nach Vorgabe des Installationskonzeptes durch Vertreter der Digitalstrom-Organisation und auf deren Kosten. Ebenso die Einbindung des Digitalstrom-Servers in die IT-Umgebung der auszurüstenden Wohnobjekte mit dem Ziel, das System von Aussen anzusprechen.

Achtung:

- Die Installation erfordert Arbeiten am Hauptverteiler der Objekte und an der 230 V-Installation. Diese Arbeiten müssen durch eine Fachperson mit Installationsbewilligung erfolgen.
- Die Digitalstrom-Organisation übernimmt die volle Verantwortung für die fachgerechte Installation und Abnahme aller Komponenten.

Ziele:

- Voll funktionsfähige Digitalstrom-Installationen in den ausgewählten Wohnobjekten und im iHomeLab
- Zugriff auf das Digitalstrom-System über das Internet etabliert
- Bericht über Erfahrungen, die während der Installation gesammelt wurden (notwendige Vorarbeiten, Voraussetzungen für eine reibungslose Installation, Erfahrungen bei Installation und IBN unter verschiedenen Bedingungen)

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Bereitstellung Digitalstrom-Komponenten	3. Januar 2009	digitalSTROM.org
Bereitstellung übrige Komponenten (z.B. für Anschluss an Kommunikationsinfrastruktur, Zählerfernauslesung)	3. Januar 2009	digitalSTROM.org
Beginn Installationsarbeiten	3. Januar 2009	R+B engineering ag
Installationen und Inbetriebnahme abgeschlossen	31. Januar 2009	R+B engineering ag
Bericht an Steering Commitee	20. März 2009	Encontrol

4.2 Installation der Messeinrichtungen

Anschliessend oder gleichzeitig mit der Installation der Chips werden die erforderlichen Messgeräte installiert und die Datenerfassung initialisiert. Damit ist gewährleistet, dass alle Messdaten für eine spätere Auswertung elektronisch zur Verfügung stehen. Diese Arbeiten erfolgen durch die HSLU.

Als permanente Messeinrichtung in den Objekten ist lediglich ein Zähler mit Fernauslesung für den totalen Strombezug notwendig.

Für die Stichprobenmessungen über jeweils eine Woche kommt vorzugsweise ein Energie- und Leistungsmessgerät des Typs EMU mit Datenlogger zum Einsatz. Diese Geräte können ohne Installationsaufwand in die Netzzuleitung einzelner Verbraucher eingeschlauft werden. Die Verbraucher müssen allerdings mit Netzstecker versehen sein, die Messung von fest installierten Geräten, wie z.B. einer Deckenlampe, ist nicht möglich.

Ziele:

- Der Strombezug der Objekte am Hauptzähler wird lückenlos aufgezeichnet
- Fernauslesung des Zählers etabliert
- Die internen Messdaten des Digitalstrom-Systems werden lückenlos erfasst und gesichert
- Messeinrichtung für Stichprobenmessungen evaluiert und beschafft (Hinweis: Encontrol verfügt über ein EMU mit Datenlogger, Gerät kann zur Verfügung gestellt werden).

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Inbetriebnahme Zählerfernauslesung und Datensicherung	19. Januar 2009	HSLU
Zählerfernauslesung und Datensicherung in Betrieb	31. Januar 2008	HSLU
Bericht an Steering Commitee	20. März 2009	Encontrol

4.3 Instruktion der Bewohner

Nach erfolgter Installation der Digitalstrom-Komponenten werden die Bewohner in der Benutzung des Systems instruiert. Dies umfasst:

- Hinweise zur Sicherheit: Prototyp-Geräte, keine Manipulationen an 230 V-Installation
- die Benutzung der Automatisierungs-Funktionen
- die Benutzung des Visualisierungs-Tools
- Hinzufügen/entfernen/neu platzieren von Verbrauchern, speziell Lampen
- allfällige Hinweise zum Umgang mit den installierten Messkomponenten
- Verhalten bei Störungen und Problemen.

Für die Dauer der Betriebsphase wird eine Beratungsstelle eingerichtet, die den Bewohnern bei Problemen zu normalen Bürozeiten (Montag bis Freitag, 08:00 bis 17:00 Uhr) telefonisch Hilfestellung gibt.

Am Ende des Projektes müssen die gesammelten Erfahrungen der Bewohner ausgewertet werden. Zu diesem Zweck wird ein Tagebuch zur Verfügung gestellt, in dem die Bewohner ihre Erfahrungen festhalten. Auch alle Kontakte mit der Betreuungsstelle werden festgehalten, zudem besondere Vorkommnisse (nennenswerter neuer Verbrauche angeschafft, Gerätedefekt, Kühltruhe ausgeschaltet, Ferienabwesenheit etc.). Dazu kommt vorzugsweise ein Internet basiertes Werkzeug zum Einsatz.

Während der Instruktion der Bewohner wird das Tagebuch eingeführt.

Die Bewohner werden ebenfalls in der monatlichen Erfassung des Heizöl- und Erdgas-Verbrauches instruiert.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Tagebuch etablieren	26. Januar 2009	Encontrol
Instruktion der Bewohner	26.-30. Jan. 2009	HSLU/Encontrol
Beratungsstelle in Betrieb	2. Februar 2009	HSLU

5 Mess- und Probebetrieb

Nachdem die ausgewählten Haushalte ausgerüstet wurden und die Messungen gemäss Konzept laufen, beginnt der eigentliche Mess- und Probebetrieb. Während dieser Phase werden die Messungen periodisch auf Plausibilität überwacht und die Bewohner zu Ihren Erfahrungen befragt. Die Messdauer umfasst mindestens einen zusammenhängenden Sommer (April bis September) und einen zusammenhängenden Winter (Oktober bis März).

Ziele:

- Betreiben der gesamten Infrastruktur über mindestens 1 Jahr.
- Erkennen der möglichen Funktionen des Digitalstrom Chips für die Energieeffizienz.
- Erkennen von Hindernissen/Chancen für eine grossflächige Verbreitung des Digitalstrom-Systems.
- Identifikation von allfälligen Inputs für die Weiterentwicklung des Digitalstrom Chips.

Arbeiten:

- Periodische Datensicherung (täglich/wöchentlich/monatlich?)
- Stichprobenmessungen in den Objekten gemäss Messkonzept
- Fehlerbehebung bei Störungen der Datenaufzeichnung
- Erste Datenauswertung nach einem Monat
- Zweite Auswertung nach einem Quartal
- Abschliessende Auswertung nach einem Kalenderjahr
- Laufende Betreuung der Bewohner
- Laufende Erfassung der Erfahrungen für den Schlussbericht

Der Kontakt zu den Bewohnern erfolgt ausschliesslich über die Beratungsstelle. Diese soll die Rückmeldungen der Bewohner sammeln. Ein direkter Kontakt der Bewohner zur Herstellerfirma Aizo ist nicht erwünscht.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Beginn Mess- und Probebetrieb	1. Februar 2009	Encontrol
Erste Zwischenauswertung der Daten, Bericht an Steering Commitee	20. März 2009	HSLU/Encontrol
Fehlerbehebung	laufend	HSLU
Betreuung der Bewohner	laufend	HSLU
2. Zwischenauswert., Bericht an Steering Committee	14. August 2009	HSLU/Encontrol
Abschluss Mess- und Probebetrieb	31. März 2010	HSLU/Encontrol

5.1 Messungen in den Objekten

In den Objekten wird die Genauigkeit der internen Messung des Digitalstrom-Systemes mit Stichprobenmessungen gemäss Messkonzept überprüft. Die Messdauer pro Verbraucher beträgt ca. 1 Woche, Auflösung mindestens 15 Minuten.

Die Messungen sollen möglichst früh im Projekt durchgeführt werden, damit die Erkenntnisse bei den ersten Auswertungen der übrigen erfassten Daten bereits zur Verfügung stehen. Vorrang habe aber die Messungen im iHomeLab.

Der Energiebezug für Heizung und evtl. BWW wird von den Bewohnern monatlich erfasst und in ein geeignetes SW-Tool eingetragen.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Stichprobenmessungen in den Objekten	Januar 2009	HSLU
Verbrauch Heizöl oder Erdgas monatlich erfassen	laufend	Bewohner
Bericht an Steering Committee	20. März 2009	Encontrol

5.2 Datenübertragung und Sicherung

Die Daten werden von der HSLU periodisch ausgelesen, plausibilisiert und geeignet archiviert, sodass sie nach Abschluss des Mess- und Probebetriebes vollständig zur Verfügung stehen.

Die Plausibilisierung muss gewährleisten, dass Störungen in der Datenerhebung zuverlässig erkannt werden. Sinnvolle Kontrollen:

- Summe der Verbrauchswerte pro Kategorie, wie sie das Digitalstrom-System erfasst, ist identisch mit dem Verbrauch gemäss Hauptzähler.
- Hauptzähler: Vergleich mit Vorperiode, Abweichung muss plausibel sein (jahreszeitliche Schwankungen, Ferienabwesenheit).

Für die Archivierung sollen die Daten-Files mit einem geeignete Schlüssel im Dateinamen gekennzeichnet werden. Der Schlüssel soll enthalten:

- Wohnobjekt
- Messperiode
- Messpunkt resp. erfasste Messpunkte
- Version, wenn in einer Periode mehrfach ausgelesen wird

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Datensicherung, Plausibilisierung und Archivierung (Intervall noch festzulegen)	Jan. 08 bis März 09	HSLU

5.3 Messungen im Labor

Achtung:

- Die Messungen beinhalten auch Arbeiten an einer 230 V–Installation . Diese Arbeiten dürfen nur von instruierten Personen ausgeführt werden.
- Die HSLU übernimmt die volle Verantwortung für fachgerechtes Arbeiten an der 230 V-Installation.

Ziele:

- Genauigkeit der internen Messung des Digitalstrom-Systems mit verschiedenen Lasten überprüfen.
- Eigenbedarf der Digitalstrom-Komponenten mit verschiedenen Lasten messen.

Die Anforderungen an die Messungen werden im Messkonzept festgelegt. Die Messungen sollen so früh wie möglich im Projekt stattfinden, damit die Erkenntnisse bei der Auswertung der übrigen erfassten Daten zur Verfügung stehen. Aus dem gemessenen Eigenbedarf pro Komponente kann unmittelbar der, von den Digitalstrom-Installationen verursachte Mehrverbrauch in den Wohnobjekten berechnet werden.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Messungen iHomeLab	Nov./Dez. 2008	HSLU
Bericht an das Steering Commitee	20. März 2009	Encontrol

5.4 Interaktion mit den Bewohnern

In ausgiebigen Gesprächen mit der Bewohnern werden die Stärken und Schwächen des Systems aus Anwendersicht in Erfahrung gebracht. Es sind drei Gesprächsrunden geplant, die ersten Gespräche werden von der Projektleitung geführt, bei den Abschlussgesprächen ist auch die HSLU beteiligt.

- Erstes Gespräch nach einem Monat
- Zweites Gespräch nach einem Quartal
- Drittes Gespräch nach einem halben Jahr
- Abschlussgespräch nach einem Kalenderjahr

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
1. Gesprächsrunde	Ende Feb. 2009	Encontrol
Bericht an Steering Committee	20. März 2009	Encontrol
2. Gesprächsrunde	Mai 2009	Encontrol
Bericht an Steering Committee	26. Juni 2009	Encontrol
3. Gesprächsrunde	September 2009	Encontrol
Abschlussgespräche	März 2010	Encontrol/HSLU

5.5 Hotline

Für die Betreuung der Bewohner richtet die HSLU eine Hotline ein, die zu normalen Bürozeiten besetzt ist. Dies setzt voraus, dass die HSLU bei mindestens zwei Personen die notwendige Kompetenz aufbaut. Es wäre wünschenswerte, wenn für Ausnahmefälle eine Notfallnummer auch abends und an Wochenenden zur Verfügung stehen würde (optional). Die Kontakte mit den Bewohnern werden von der Hotline erfasst und protokolliert. Dazu kommt vorzugsweise ein Internet basiertes Tagebuch zur Anwendung.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Hotline und Tagebuch einrichten	Januar 2009	HSLU/Encontrol
Hotline in Betrieb	1. Februar 2009	HSLU

6 Demontage

Nach Abschluss des Mess- und Probebetriebs werden die Komponenten des Digitalstrom-Systems durch die Digitalstrom-Organisation deinstalliert, ausser die Bewohner wollen die Installationen in Absprache mit allen Beteiligten behalten. Dabei ist aber anzumerken, dass keine Gewähr für die verbleibende Installation übernommen wird, die Komponenten befinden sich in einem Prototypenstadium und verfügen nicht über ein CE-Zeichen.

Termine:

Arbeitsschritt	Termin	verantwortlich
Vereinbarung mit Bewohnern betr. Verbleib oder Demontage der Komponenten, Kostenfrage klären	April 2010	digitalSTROM.org
Komponenten demontieren	April 2010	digitalSTROM.org

7 Auswertung / Schlussbericht

Die Abschlussarbeiten teilen sich in zwei Bereiche, einerseits die Auswertung der über ein Kalenderjahr gesammelten Messdaten und Erfahrungen der Bewohner, andererseits die Interpretation dieser Auswertungen und das Formulieren von Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

Die Auswertung der Messdaten erfolgt gemäss Vorgabe der Projektleitung durch die HSLU.

Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen werden von der Encontrol formuliert.

7.1 Auswertung der Messungen

Nach Abschluss der Messungen werden die angefallenen Daten ausgewertet. Dabei sollen die folgenden Aussagen resultieren:

- Strombezug der Digitalstrom-Installation, wo sinnvoll aufgeteilt in die Betriebszustände „Normalbetrieb“, „Bereitschaftsbetrieb“ und „Schein-Aus“.
- Genauigkeit der Verbrauchsmessung der Digitalstrom-Komponenten.
- Strombezug aller Haushaltgeräte, aggregiert nach den Kategorien gemäss Abschnitt 3.6 (diese Daten resultieren aus dem Digitalstrom-System) und wenn möglich aufgeteilt in die obigen Betriebszustände.
- Realisierte Einsparungen durch das Digitalstrom-System, sowohl beim Elektrizitäts- wie auch bei Brennstoffbezug.

7.2 Hochrechnung

Aufgrund der Auswertungen wird die Auswirkungen von Digitalstrom auf die Energieeffizienz der Schweizerischen Haushalte abgeschätzt.

7.3 Schlussfolgerungen

Der Zielsetzung entsprechend, werden die Schlussfolgerungen aus den Messungen und dem Betrieb der Objekte gezogen. Auch ist ein Vergleich mit bestehenden, zur Verfügung gestellten Messungen von anderen Home Automation Systemen durchzuführen.

Die Erkenntnisse und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen werden in strukturierten Empfehlungen zusammengefasst. Dabei sind folgende Empfängerkategorien vorgesehen:

- Empfehlungen an die Entwickler von Digitalstrom Chips, resp. generell an die Industrie von Home Automation Komponenten und Systemen bezüglich Technik, Funktionen, Ergonomie, Effizienz der Komponenten etc.
- Empfehlungen zu Handen des Bundes für weitere Forschungsarbeiten und/oder anderweitige Anregungen
- Darstellung der bestgeeigneten und weniger geeigneten Einsatzmöglichkeiten des Digitalstrom Chips (Einbau in EVU-Zähler, etc.)

Die Schlussfolgerungen sollen unter anderem die folgenden Aspekte berücksichtigen, die sich in der Vergangenheit als zentrale Punkte bei der Verbreitung und der Energieeffizienz im Zusammenhang mit dem Intelligenten Wohnen erwiesen haben:

- hoher Strombezug für die zentrale Infrastruktur (Server, Touchpanel)
- hoher Strombezug für die unterbruchslose Stromversorgung
- hoher Strombezug für die Beleuchtungssteuerung (Dimmer-Bausteine, Aktoren)
- Möglichkeiten der Steuerung zur Energieeinsparung wenig genutzt
- Wesentliche Einflüsse von Digitalstrom auf die Verbreitung von Home-Automation in der Schweiz.

8 Anhang: Terminübersicht (2 Seiten)

Aufgabe/Meilenstein	verantwortlich	Termin		2008								2009					
		Beginn	Ende	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.
Phase 1: Planung und Vorbereitung		16.05.2008	31.01.2009														
Startsitzung Steering Commitee	Encontrol	06.06.2008	06.06.2008														
Wohneinheiten festlegen	Steering Comm.	06.06.2008	15.08.2008														
Spezifikation	Encontrol	16.05.2008	27.06.2008														
Testbetrieb	Encontrol	20.10.2008	24.10.2008														
Messkonzept	HSLU	09.06.2008	18.07.2008														
Installationskonzept	R+B engineering	18.08.2008	26.09.2008														
2. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	21.11.2008	21.11.2008														
Phase 2: Installation und Inbetriebnahme		05.01.2009	30.01.2009														
Bereitstellung Komponenten	digitalSTROM	05.01.2009	05.01.2009														
Installation und IBN in Wohnobjekten	R+B engineering	05.01.2009	30.01.2009														
Installation im iHomeLab	R+B engineering	05.01.2009	30.01.2009														
Installation Messeinrichtungen	HSLU	19.01.2009	30.01.2009														
Instruktion der Bewohner	HSLU	26.01.2009	30.01.2009														
Tagebuch etablieren	Encontrol	05.01.2009	30.01.2009														
Hotline etablieren	HSLU	05.01.2009	30.01.2009														
Phase 3: Mess- und Probebetrieb		01.02.2009	31.03.2010														
Beginn Mess- und Probebetrieb	Encontrol	01.02.2009	01.02.2009														
Messungen iHomeLab	HSLU	01.11.2009	23.12.2009														
Stichprobenmessungen Objekte	HSLU	05.01.2009	31.01.2009														
1. Auswertung Messdaten	Encontrol	01.03.2009	20.03.2009														
1. Gesprächsrunde	Encontrol	23.02.2009	26.02.2009														
3. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	20.03.2009	20.03.2009														
2. Auswertung Messdaten	Encontrol	01.06.2009	26.06.2009														
2. Gesprächsrunde	Encontrol	01.05.2009	31.05.2009														
5. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	14.08.2009	14.08.2009														
Abschlussgespräche	Encontrol/HSLU	01.03.2010	31.03.2010														
Phase 4: Auswertung und Schlussbericht		01.04.2010	31.08.2010														
Demontage der Komponenten	R+B engineering	01.04.2010	30.04.2010														
Auswertung der Messungen	HSLU/Encontrol	01.04.2010	30.05.2010														
Schlussbericht mit Empfehlungen	Encontrol	01.06.2010	31.08.2010														
Abschlusssitzung Steering Commitee	Encontrol	16.08.2010	16.08.2010														
Abgabe an Stromsparfonds ewz		31.08.2010	31.08.2010														

Aufgabe/Meilenstein	verantwortlich	Termin		2008								2009							
		Beginn	Ende	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.
Phase 1: Planung und Vorbereitung		16.05.2008	31.01.2009																
Startsitzung Steering Commitee	Encontrol	06.06.2008	06.06.2008		◆														
Wohneinheiten festlegen	Steering Comm.	06.06.2008	15.08.2008				◆												
Spezifikation	Encontrol	16.05.2008	27.06.2008	→	→														
Testbetrieb	Encontrol	20.10.2008	24.10.2008						→										
Messkonzept	HSLU	09.06.2008	18.07.2008		→	→													
Installationskonzept	R+B engineering	18.08.2008	26.09.2008				→	→											
2. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	21.11.2008	21.11.2008							◆									
Phase 2: Installation und Inbetriebnahme		05.01.2009	30.01.2009																
Bereitstellung Komponenten	digitalSTROM	05.01.2009	05.01.2009								◆								
Installation und IBN in Wohnobjekten	R+B engineering	05.01.2009	30.01.2009								→	→							
Installation im iHomeLab	R+B engineering	05.01.2009	30.01.2009								→	→							
Installation Messeinrichtungen	HSLU	19.01.2009	30.01.2009									→							
Instruktion der Bewohner	HSLU	26.01.2009	30.01.2009									◆							
Tagebuch etablieren	Encontrol	05.01.2009	30.01.2009								→	→							
Hotline etablieren	HSLU	05.01.2009	30.01.2009								→	→							
Phase 3: Mess- und Probebetrieb		01.02.2009	31.03.2010																
Beginn Mess- und Probebetrieb	Encontrol	01.02.2009	01.02.2009										◆						
Messungen iHomeLab	HSLU	01.11.2009	23.12.2009							→	→								
Stichprobenmessungen Objekte	HSLU	05.01.2009	31.01.2009									→							
1. Auswertung Messdaten	Encontrol	01.03.2009	20.03.2009											→					
1. Gesprächsrunde	Encontrol	23.02.2009	26.02.2009										→						
3. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	20.03.2009	20.03.2009											◆					
2. Auswertung Messdaten	Encontrol	01.06.2009	26.06.2009														→		
2. Gesprächsrunde	Encontrol	01.05.2009	31.05.2009													→			
5. Sitzung Steering Commitee	Encontrol	14.08.2009	14.08.2009																◆
Abschlussgespräche	Encontrol/HSLU	01.03.2010	31.03.2010																
Phase 4: Auswertung und Schlussbericht		01.04.2010	31.08.2010																
Demontage der Komponenten	R+B engineering	01.04.2010	30.04.2010																
Auswertung der Messungen	HSLU/Encontrol	01.04.2010	30.05.2010																
Schlussbericht mit Empfehlungen	Encontrol	01.06.2010	31.08.2010																
Abschlusssitzung Steering Commitee	Encontrol	16.08.2010	16.08.2010																
Abgabe an Stromsparfonds ewz		31.08.2010	31.08.2010																

i|Home|Lab

Messkonzept der digitalSTROM® Komponenten

Autor
Rolf Wettstein
Dr. André Aregger

Luzern, 18. November 2008
Version 1.0

Inhalt

1 Einleitung 3
2 Ausgangslage 3
3 Prinzip 3
4 Leistungsmessgerät LMG-500 4
4.1 Funktionsweise 5
4.2 Software TERM-5L 5
4.3 Eliminierung der Störgrössen 5
5 Messaufbau 6
6 Messungen in Testobjekten 8
7 Definition und Abkürzungen 8
8 Referenzen 8

1 Einleitung

Als Partner der digitalSTROM®-Allianz hat das Kompetenzzenter CEESAR der Hochschule Luzern – Technik & Architektur die Aufgabe, den Eigenverbrauch der digitalSTROM-Komponenten auszumessen und zu dokumentieren. Es ist geplant, diese Messungen im Herbst 2008 im CEESAR durchgeführt. Zusätzlich dazu haben sich einige Mitarbeiter und Bekannte als Betatester der dS-Komponenten beworben. Dabei werden die Komponenten in deren Wohnungen bzw. Häusern installiert und den Nutzen in Bezug auf Energieeffizienz gemessen. In diesem Dokument wird das Konzept dieser Messungen beschrieben.

2 Ausgangslage

Im Rahmen einer Voruntersuchung schon einige Vorarbeit bzgl. Eigenverbrauchsmessungen durchgeführt. Die Dokumentation dieses Projektes[1] dient als Grundlage für das vorliegende Dokument.

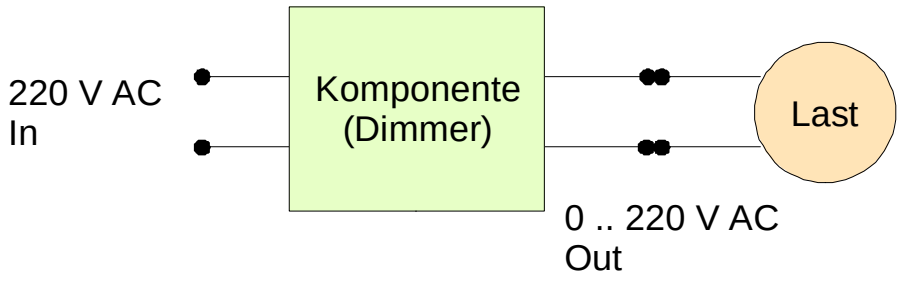
3 Prinzip

Ziel des Industrieprojekts war, eine Messeinrichtung zur hochpräzisen Messung des Energieverbrauchs von 230VAC- digitalSTROM®-Komponenten zu finden und aufzubauen. Die Lasten sollen auch induktiv oder nichtlinear sein können. Ein Beispiel einer solchen Komponente kann ein Dimmer sein. Da die digitalSTROM®-Komponenten noch nicht zur Verfügung stehen, wurde in diesem Projekt ein handelsüblicher Dimmer verwendet, welcher vorzugsweise mit dem PC angesteuert werden kann, da dies am ehesten der digitalSTROM®-Komponente entspricht.

Ziel ist es, dass durch verschiedene Phasenanschnitte des Dimmers eine Kurve erstellt werden kann, wo genau ersichtlich ist, bei welcher Einstellung (0-100%) der Dimmer wie viel Energie verbraucht.

Zur Genauigkeit und zur Last sind folgende Vorgaben gegeben:
Der Eigenverbrauch des Dimmers ist ca. 0.5 Watt und er treibt eine Last von ca. 150 Watt.
Der Eigenverbrauch des Dimmers mit einer Genauigkeit von +/- 25 mW bestimmt werden können.

In der folgenden Abbildung sind die 4 zur Verfügung gestellten Messstellen gekennzeichnet.



3-1 Vorgabe Messschaltung

Bei dieser geforderten Genauigkeit ist klar, dass sicher ein kalibriertes Messgerät in der Messeinrichtung verwendet werden muss, da andernfalls die geforderte Genauigkeit nicht erreicht werden kann.

Die Aufgabe umfasst folgende Punkte:

- Realisierung der Messeinrichtung als Laboraufbau
- Validierung
- Dokumentation

Spezifikationen des Messsystems

Bei einer Last von 150 Watt muss eine Leistungsveränderung von +- 25 mW bestimmt werden können. Das heisst, es wird eine Genauigkeit des Messgerätes von 25mW/150W = 0.016% gefordert.

Da die Messung vor und hinter dem Dimmer unter gleichen Bedingungen stattfinden muss, muss an beiden Stellen gleichzeitig gemessen werden und die Daten müssen irgendwie auf den PC übertragen werden, um sie auszuwerten. Bei der geforderten Genauigkeit könnten bereits kleinere Eingangsspannungsschwankungen oder andere sich verändernde Faktoren die Messung verfälschen, wenn sie vor und hinter dem Dimmer nicht zur gleichen Zeit erfolgt.

Bei den Messungen in den Privatwohnungen wird dieses Messprinzip nicht angewandt. Im Gegensatz zu den Messungen der Prototypen wird hier nur der Stromverbrauch der vergangenen Rechnungsperiode mit dem neuen Verbrauch mit den eingebauten Komponenten verglichen.

4 Leistungsmessgerät LMG-500

Martin Steiger hat in einer Evaluation folgendes Messgerät ausgesucht. In diesem Kapitel sind einige Informationen dazu zusammengetragen.

4-1 LMG 500 Frontansicht

4.1 Funktionsweise

Das LMG 500 hat gegenüber anderen mehrkanaligen Leistungsmessgeräten den grossen Vorteil, dass die Kanäle vollkommen galvanisch voneinander getrennt sind. Das heisst man muss kein gemeinsames Potential zwischen den Kanälen haben. So ist es optimal geeignet für die Messungen die in diesem Projekt durchgeführt wurden. Das Gerät ist einfach zu bedienen und man kann im schönen Farbdisplay beliebige Werte von den verschiedenen Kanälen anzeigen lassen. In diesem Projekt wurden jeweils folgende Werte betrachtet:

- Effektivwert der Spannung (Utrms)
- Effektivwert des Stromes (Itrms)
- Wirkleistung(P)
- Scheinleistung(S)
- Blindleistung(Q)

Um den Momentanverbrauch der Komponenten zu bestimmen wurde im Gerät eine Zeit von 500ms gewählt, während welcher der Leistungsverbrauch gemittelt wird, bevor die Daten an den PC übertragen werden. So halten sich die zu übertragenden Daten in Grenzen und man hat dennoch einen guten Überblick wie sich der Verbrauch verändert.

In den folgenden Messungen und Formeln bedeutet P2 zum Beispiel die gemessene Wirkleistung in Kanal 2 gemeint. Analog dazu ist mit I1trms der Effektivwert des Stromes von Kanal 1 gemeint. Da nur die Wirkleistung interessiert, wird in allen Berechnungen mit Effektivwerten gerechnet.

4.2 Software TERM-5L

Die Firma ZES Zimmer stellt für das LMG 500 eine Software mit Namen TERM-5L zur Verfügung. Mit Hilfe dieser einfach aufgebauten Software kann das LMG 500 nach erfolgter Verkabelung einfach und mühelos vom PC oder Notebook aus bedient werden. Angesteuert wird über eine serielle Schnittstelle.

Einmal eingestellte Konfigurationen können in einem .TL5-File abgespeichert und später wieder geladen werden. In der Software kann unter anderem die Periode der Abfrage der Messdaten vom Messgerät festgelegt werden. Zudem kann für jeden Leistungsmesskanal einzeln eingestellt werden, welche Messwerte (U, I, P, Q etc.) ausgelesen werden sollen.

Die einmal ausgelesenen Werte werden in einem .txt-File abgespeichert. Dies ermöglicht ein einfaches Einfügen in Microsoft Excel, wo die Werte danach weiter verarbeitet werden können. In diesem Projekt wurde in Excel die Fehlerkorrektur an den Leistungsmesswerten des einen Kanals vorgenommen.

4.3 Eliminierung der Störgrössen

Durch die Innenwiderstände vom Kanal 2 resultieren zwei Störgrössen. Zum einen fällt eine mehr oder weniger (abhängig von der Spannungsversorgung) konstante Leistung am Innenwiderstand des Spannungskanals(4.59MOhm) ab. Bei 230VAC ist dies ungefähr 11.5mW.

Zudem gibt es eine Verlustleistung die proportional zum Strom wächst. Nämlich die Verlustleistung am Stromkanalwiderstand. Bei einem Bereich von 0-1.2 Ampere ist dieser beim LMG 500 27mOhm. Bei kleinen Strömen schlägt sich dies nicht gross auf den Messwert in Kanal 1 aus. Wenn aber ein Strom von 500mA durch diesen Messwiderstand fliesst, misst der Kanal 1 doch schon fast 7mW zuviel.

Diese Formeln wurden in Excel verwendet um diesen Fehler zu korrigieren. Für jeden Messwert wurden dabei die aktuellen Effektivwerte des Stromes und der Spannung in die Formel eingesetzt.

(5.1) Verlustleistung im Stromkanal: $P_{Stromkanal}[W] = I2trms[A]^2 * 0.027[Ohm]$

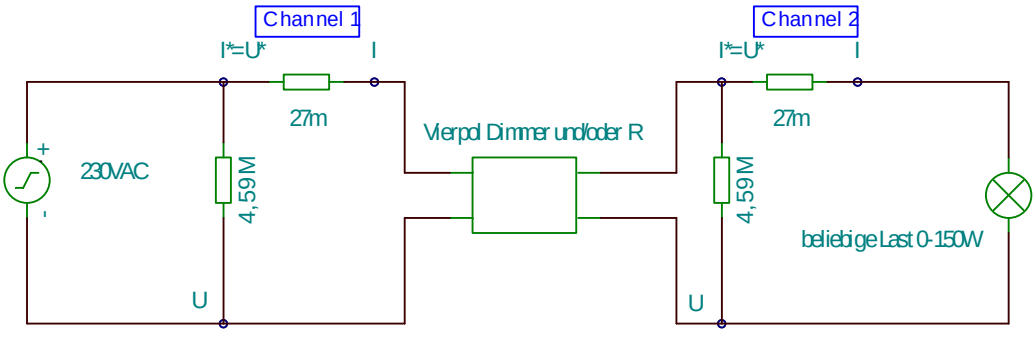
(5.2) Verlustleistung im Spannungskanal: $P_{Spannungskanal}[W] = \frac{U2trms[V]^2}{4.59[MOhm]}$

Darüber hinaus wurden auch die Leiter- sowie die Kontaktwiderstände miteinbezogen, welche durch den Aufbau zustande kommen. Genauere Informationen zur Eliminierung der Störgrössen sowie der Messgenauigkeit ist der Projektdokumentation zum „Eigenverbrauchsmessung von digitalSTROM®-Komponenten“ zu entnehmen.

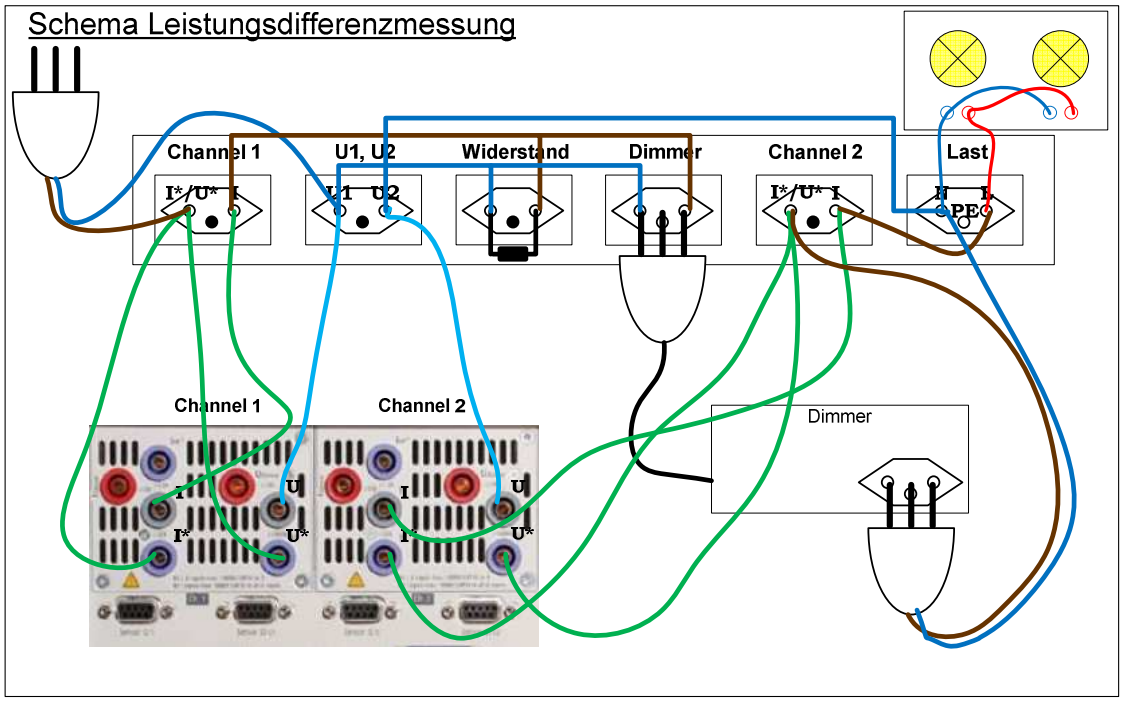
Vom Hersteller wird eine Messungenauigkeit 0.036% veranschlagt.
Durch die Eliminierung der Störgrössen kann jedoch eine Messungenauigkeit von 0.01% herausgeholt werden. Dieser Wert wurde von Martin Steiger verifiziert.

5 Messaufbau

Martin Steiger hat in seinem Industrieprojekt einen Messaufbau in einer Steckerleiste integriert. Mit diesem Aufbau kann die Messung eines Leistungsverbrauchs mit wenig Aufwand realisiert werden. Im Folgenden ist die Messung eines Dimmers abgebildet:



5-1 definitiver Aufbau Schema



5-2 Verkabelung mit Steckerleiste

Die Messung der digitalSTROM®-Komponenten können in ähnlicher Weise durchgeführt werden. Der genaue Messaufbau ist noch nicht erstellt worden, da noch keine Informationen über die Prototypen zur Verfügung stehen.

In der Projektdokumentation von Martin Steiger ist ebenfalls ersichtlich, dass Schwankungen im 230VAC-Netz zu Messungenauigkeiten führen. Aus diesem Grund sollen die Messungen der digitalSTROM®-Komponenten mithilfe einer USV gemessen werden.

1. Messungen der Komponenten

Um den Eigenverbrauch der Komponenten unter verschiedenen Bedingungen zu testen, werden auch unterschiedliche Lasten verwendet.
Unter dem Gesichtspunk einiger üblicher Haushaltsgeräte werden folgende Lasten gemessen werden:

Art des Verbrauchers	Spezifisches Gerät
Ohmscher Verbraucher	Glühlampe
Verbraucher mit Schaltnetzteil	Computer
Kapazitiver Verbraucher	Fluoreszenzlampe

Da ein Verbraucher mit Schaltnetzteil nicht gedimmt werden kann, soll hier der Stromverbrauch in verschiedenen Aktivitätszuständen bestimmt werden (Im Beispiel des Computers: Idle, Stand-By, Volle Auslastung usw.)
Dabei können zwar nicht so viele Zustände abgebildet werden wie für eine dimmbare Last, aber es gibt eine Vorstellung über die Thematik. Je nach Resultat kann die Messung auch auf andere Lasten bezogen werden, falls Ähnlichkeiten bestehen.

6 Messungen in Testobjekten

Um den Nutzen in Bezug auf die Energieeffizienz solcher Installationen zu messen, werden die digitalSTROM®-Komponenten in Testobjekten installiert. Danach kann man den Stromverbrauch mit und ohne Installation der Komponenten vergleichen. Das geplante Vorgehen ist folgendermassen:

1. Es werden die Zählerinformationen der vorangehenden Rechnungsperioden gesammelt und ausgewertet. Diese werden am Ende der Messperiode mit den neuen Zählerinformationen verglichen.
2. Punktuell werden Messungen von einzelnen Geräten durchgeführt und deren Stromverbrauch bestimmt. Dabei sollen z.B. Geräte im Multimediabereich wie Fernseher, Stereoanlage, Geräte der weissen und roten Ware, aber auch „versteckte“ Geräte wie z.B. Wasserboiler ausgemessen werden. Die erfassten Messwerte werden am Ende der Messperiode ebenfalls mit den neuen Zählerinformationen verglichen.

7 Definition und Abkürzungen

DMX	**D**igital **M**ultiple**x** = digitales Protokoll zur Steuerung von versch. Geräten in der Licht- und Bühnentechnik
digitalSTROM®	Projekt der ETH Zürich, Vernetzung elektrischer Geräte über Haushaltnetz
LMG500	Präzisionsleistungsmessgerät mit 4 Kanälen, Hersteller: ZES Zimmer, Deutschland
TERM-5L	Software für die Steuerung des LMG500 vom Notebook aus
ZES ZIMMER	Präzisionsleistungsmessgeräte-Hersteller

8 Referenzen

[1] Voruntersuchung_Eigenverbrauch_Digitalstrom_redWER.pdf

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE
LUZERN

Technik & Architektur

Eigenverbrauchsmessung von digitalSTROM®-Komponenten

Voruntersuchung

FH Zentralschweiz

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE
LUZERN

Technik & Architektur

Abstract

In dieser Voruntersuchung wurden Leistungsmessungen mit einem mehrkanaligen Leistungsmessgerät durchgeführt. Zur einfacheren Bedienung wurde ein Leistungsprüfstand hergestellt, mit welchem die verschiedenen Messungen durchgeführt wurden. Die geforderte Genauigkeit, einen Dimmer mit einer Last von ca. 150 W auf +- 25mW auszumessen, wurde erreicht. Zuvor mussten jedoch verschiedene Fehlerursachen (Innenwiderstände Messgerät, Kontakt- und Leiterwiderstände und Widerstandswertänderung bei Erwärmung) erkannt und bei den Messwerten berücksichtigt werden. Diese Probleme werden im Text näher erläutert.

Um das Messgerät zu testen wurden zuerst Widerstände, welche bei 230VAC eine Leistung von 100mW bis 1W verbrauchen, ausgemessen. Danach wurden die ersten Differenzmessungen gemacht, indem parallel zu den Widerständen eine variable Last von 0 – 120W gehängt wurde.
Zuletzt wurde an Stelle der Widerstände der Dimmer mit einer von ihm angesteuerten Last von 0 - 110W vermessen.

1. Inhalt

Abstract ... 2
1. Inhalt ... 3
2. Einführung ... 3
2.1. Zweck des Dokuments ... 3
2.2. Gültigkeitsbereich ... 4
2.3. Definitionen und Abkürzungen ... 4
2.4. Referenzen ... **Fehler! Textmarke nicht definiert.**
3. Aufgabe ... 4
3.1. Information digitalSTROM® ... 4
3.2. Aufgabenstellung ... 4
3.3. Ziele ... 5
4. Recherche und Auswahl der Versuchskomponenten ... 6
4.1. Präzisionsleistungsmessgeräte ... 6
4.2. Leistungsmessgerät LMG 500 ... 7
4.3. Dimmer ... 8
4.4. Messwiderstände ... 8
5. Testaufbau ... 8
5.1. Messungen ... 8
5.2. Eliminierung der Störgrössen ... 10
6. Messungen mit definitivem Aufbau ... 10
6.1. Messwiderstände ... 11
6.2. Variable Last 0-120Watt ... 12
6.3. Messung Dimmerverlustleistung ... 19
7. Report Leistungsmessung mit DMX-Dimmer ... 20
7.1. Allgemeines ... 20
7.2. Messaufbau ... 21
7.3. Messvorgehen ... 21
7.4. Fehlerkorrektur in Excel ... 21
7.5. Resultate ... 23
7.6. Evaluierung der Resultate ... 23
8. Ausblick ... 23
9. Quellen/Referenzen ... 24
A Anhang A: Messresultate etc. ... 25

2. Einführung

2.1. Zweck des Dokuments

Das Vorgehen und die einzelnen Schritte der Voruntersuchung sind hier ersichtlich. Im Weiteren sollen die Kapitel 5, Leistungsmessgerät LMG500 und Kapitel 7, Report Leistungsmessung mit DMX-Dimmer, dazu dienen dass die definitive Ausmessung der digitalSTROM®-Komponenten von einer Drittperson ohne zu grossen Aufwand mit der zur Verfügung gestellten Infrastruktur durchgeführt werden kann.

2.2. Gültigkeitsbereich

Das Dokument ist in erster Linie für die Person gedacht, welche im Verlaufe des Jahres die Messung an den digitalSTROM®-Komponenten machen wird, aber auch für Personen die sich für Präzisionsleistungsmessung interessieren.

2.3. Definitionen und Abkürzungen

CEESAR	Center of Excellence for Embedded Systems Applied Research
DMX	**D**igital **M**ultiple**x** = digitales Protokoll zur Steuerung von versch. Geräten in der Licht- und Bühnentechnik
digitalSTROM®	Projekt der ETH Zürich, Vernetzung elektrischer Geräte über Haushaltnetz
LMG500	Präzisionsleistungsmessgerät mit 4 Kanälen, Hersteller: ZES Zimmer, Deutschland
TERM-5L	Software für die Steuerung des LMG500 vom Notebook aus
ZES ZIMMER	Präzisionsleistungsmessgeräte-Hersteller

3. Aufgabe

3.1. Information digitalSTROM®

[1]digitalSTROM® ist eine von der ETH Zürich gegründete Non-Profit-Organisation. An diesem Projekt beteiligen sich verschiedene Firmen, Organisationen und Forschungseinrichtungen.
Das Ziel von digitalSTROM® besteht darin, elektrische Geräte über das vorhandene Stromversorgungsnetz zu vernetzen. Dabei wird Energie eingespart, dem Nutzer werden verschiedene Funktionen wie „Zentralaus“ angeboten und mit digitalSTROM® kann künftig auch ein Sicherheitssystem in einem Gebäude realisiert und überwacht werden.
Da die digitalSTROM®-Komponenten dem Energiesparen dienen sollen, ist es wichtig auch den Energieverbrauch der Komponenten selbst zu kennen.

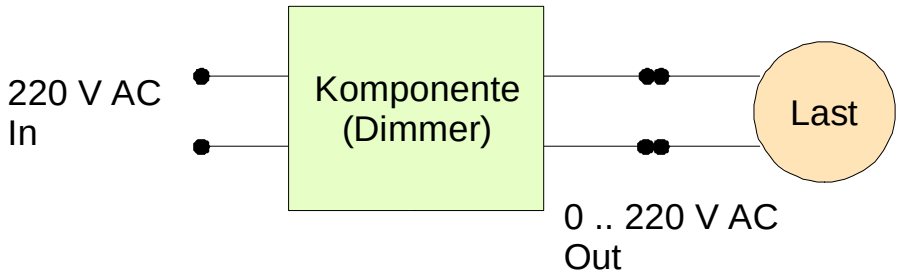
3.2. Aufgabenstellung

Es soll eine Messeinrichtung zur hochpräzisen Messung des Energieverbrauchs von 230VAC-digitalSTROM®-Komponenten gefunden oder erstellt werden. Die Lasten sollen auch induktiv oder nichtlinear sein können. Ein Beispiel einer solchen Komponente kann ein Dimmer sein. Da die digitalSTROM®-Komponenten noch nicht zur Verfügung stehen, soll in diesem Projekt ein handelsüblicher Dimmer verwendet werden, welcher vorzugsweise mit dem PC angesteuert werden kann, da dies am ehesten der digitalSTROM®-Komponente gleicht.
Ziel ist es, dass durch verschiedene Phasenanschnitte des Dimmers eine Kurve erstellt werden kann, wo genau ersichtlich ist, bei welcher Einstellung (0-100%) der Dimmer wie viel Energie verbraucht.

Zur Genauigkeit und zur Last sind folgende Vorgaben gegeben:
Der Eigenverbrauch des Dimmers ist ca. 0.5 Watt und er treibt eine Last von ca. 150 Watt. Der Eigenverbrauch des Dimmers mit einer Genauigkeit von +/- 25 mW bestimmt werden können.

In der Abbildung sind die 4 zur Verfügung gestellten Messstellen gekennzeichnet.

[1] Quelle: Aufgabenstellung_ds-EVM_MartinSteiger.doc



3-1 Vorgabe Messschaltung

Bei dieser geforderten Genauigkeit ist klar, dass sicher ein kalibriertes Messgerät in der Messeinrichtung verwendet werden muss, da andernfalls die geforderte Genauigkeit nicht erreicht werden kann.

Die Aufgabe umfasst folgende Punkte:

- Spezifizierung der Anforderungen an das Mess-System
- Recherche über verfügbare Präzisions-Leistungsmessgeräte oder Komponenten dazu, die für diese Anwendung in Frage kommen
- Falls keine geeigneten Systeme verfügbar sind: Recherche über geeignete Mess- und Schaltungskonzepte zum "Selbstbau" der Messeinrichtung (unter Einbezug verfügbarer oder käuflicher Einrichtungen)
- Spezifikation der Lösung.: Aufstellung der benötigten Komponenten. Erstellung eines Schaltplans / Anschlussplans.
- Realisierung der Messeinrichtung als Laboraufbau
- Validierung
- Dokumentation

Spezifikationen des Messsystems

Bei einer Last von 150 Watt muss eine Leistungsveränderung von +- 25 mW bestimmt werden können. Das heisst, es wird eine Genauigkeit des Messgerätes von 25mW/150W = 0.016% gefordert.

Da die Messung vor und hinter dem Dimmer unter gleichen Bedingungen stattfinden muss, muss an beiden Stellen gleichzeitig gemessen werden und die Daten müssen irgendwie auf den PC übertragen werden, um sie auszuwerten. Bei der geforderten Genauigkeit könnten bereits kleinere Eingangsspannungsschwankungen oder andere sich verändernde Faktoren die Messung verfälschen, wenn sie vor und hinter dem Dimmer nicht zur gleichen Zeit erfolgt.

3.3. Ziele

Die Messung so genau machen, dass die geforderten Anforderungen, welche sicherlich sehr hoch sind, erreicht werden können.
Unter Berücksichtigung von möglichst allen erfassbaren Störfaktoren im Messaufbau soll der Fehler so klein wie nur möglich gehalten werden.

4. Recherche und Auswahl der Versuchskomponenten

4.1. Präzisionsleistungsmessgeräte

Im Gebiet der Präzisionsleistungsmessung gibt es auf dem Markt nicht allzu viele Geräte. Zwei Sachen haben alle verfügbaren Geräte gemeinsam: Sie sind teuer und haben oft aufgrund der geringen Stückzahl und Sonderanfertigungen lange Lieferfristen.

Nach ausgiebiger Recherche im Internet kamen folgende Geräte in die engere Auswahl:

(Alle Datenblätter auf der CD)

- Fluke Norma 4000(1 Kanal)
- Voltech PM 3000A(3 Kanäle, an T&A vorhanden)
- Voltech PM 6000(3 Kanäle)
- Yokogawa WT3000(3 Kanäle)
- ZES LMG 95(1 Kanal)
- ZES LMG 450 (2 Kanäle)
- ZES LMG 500 (3 Kanäle)

Das Fluke Norma erreicht die geforderte Genauigkeit nicht. Der Fehler bei einer Leistungsmessung im geforderten Bereich liegt bei 0,16% anstatt der geforderten 0,016%. Zudem hat es nur einen Kanal.

Das Problem der Geräte wie dem PM3000 ist, dass sie für grössere Leistungen ausgelegt sind. Beim PM3000 konnte beispielsweise eine Last von 100mW nicht erkannt werden. Zudem hat man bei allen Kanälen immer einen gemeinsamen Pol, da es für Dreiphasenmessungen gedacht ist.

PM 6000 von der Firma Voltech wäre genau genug, hatte aber sehr grosse Lieferfristen um ein Testgerät zur Verfügung zu stellen.

Der Yokogawa WT3000 ist zu ungenau für diese Messungen.

Das LMG 95 von der Firma ZES Zimmer hat die geforderte Genauigkeit, jedoch nur einen Kanal für die Leistungsmessung. Das LMG 450 erreicht die geforderte Genauigkeit nicht und kam nicht in Frage.

Die Firma Tectron konnte innerhalb einer Woche ein LMG 500 zu Testzwecken zur Verfügung stellen, wodurch die Wahl des zu benützenden Produkts klar war. Das LMG500 ist der Recherche zu Folge eines der Besten seiner Klasse und der Preis liegt im Durchschnitt.

4.2. Leistungsmessgerät LMG 500

4-1 LMG 500 Frontansicht

4.2.1. Funktionsweise

Das LMG 500 hat gegenüber anderen mehrkanaligen Leistungsmessgeräten den grossen Vorteil, dass die Kanäle vollkommen galvanisch voneinander getrennt sind. Das heisst man muss kein gemeinsames Potential zwischen den Kanälen haben. So ist es optimal geeignet für die Messungen die in diesem Projekt durchgeführt wurden. Das Gerät ist einfach zu bedienen und man kann im schönen Farbdisplay beliebige Werte von den verschiedenen Kanälen anzeigen lassen. In diesem Projekt wurden jeweils folgende Werte betrachtet:

- Effektivwert der Spannung (Utrms)
- Effektivwert des Stromes (Itrms)
- Wirkleistung(P)
- Scheinleistung(S)
- Blindleistung(Q)

Um den Momentanverbrauch der Komponenten zu bestimmen wurde im Gerät eine Zeit von 500ms gewählt, während welcher der Leistungsverbrauch gemittelt wird, bevor die Daten an den PC übertragen werden. So halten sich die zu übertragenden Daten in Grenzen und man hat dennoch einen guten Überblick wie sich der Verbrauch verändert.
In den folgenden Messungen und Formeln bedeutet P2 zum Beispiel die gemessene Wirkleistung in Kanal 2. Analog dazu ist mit I1trms der Effektivwert des Stromes von Kanal 1 gemeint. Da nur die Wirkleistung interessiert, wird in allen Berechnungen mit Effektivwerten gerechnet.

4.2.2. Software TERM-5L

Die Firma ZES Zimmer stellt für das LMG 500 eine Software mit Namen TERM-5L zur Verfügung. Mit Hilfe dieser einfach aufgebauten Software kann das LMG 500 nach erfolgter Verkabelung einfach und mühelos vom PC oder Notebook aus bedient werden. Angesteuert wird es über eine serielle Schnittstelle.

Einmal eingestellte Konfigurationen können in einem .TL5-File abgespeichert und später wieder geladen werden. In der Software kann unter anderem die Periode der Abfrage der Messdaten vom Messgerät festgelegt werden. Zudem kann für jeden Leistungsmesskanal einzeln eingestellt werden, welche Messwerte (U, I, P, Q etc.) ausgelesen werden sollen.

Die einmal ausgelesenen Werte werden in einem .txt-File abgespeichert. Dies ermöglicht ein einfaches Einfügen in Microsoft Excel, wo die Werte danach weiter verarbeitet werden können. In diesem Projekt

wurde in Excel die Fehlerkorrektur an den Leistungsmesswerten des einen Kanals vorgenommen(genauere Beschreibung des Problems im Kapitel „Testaufbau“).

4.3. Dimmer

Da die Digitalstromkomponenten noch nicht zur Verfügung stehen, ist beschlossen worden, dass für dieses Projekt irgendein handelsüblicher Dimmer verwendet wird. Im Internet wurde eine Recherche nach verschiedenen Dimmern durchgeführt. Dabei war das Ziel, einen Dimmer zu finden, welcher direkt über USB angesteuert werden kann. Die Suche verlief erfolglos. Anscheinend gibt es so was in der Art nicht. Alle gefundenen Dimmer waren entweder „handregelbar“ oder brauchten ein zusätzliches Steuergerät, da sie eine Versorgungsspannung von mehr als 5VDC (USB) brauchen.

Schlussendlich fiel der Entscheid auf einen DMX-angesteuerten Dimmer, da dieser mit einem einfachen DMX-Modul über USB angesteuert werden kann. Zudem war auch die gesamte Hardware an der Hochschule Luzern, Technik & Architektur bereits vorhanden.

4.4. Messwiderstände

Zur Überprüfung der Genauigkeit des Messgerätes wurden drei verschiedene Widerstände genau ausgemessen. Es handelt sich dabei um Widerstände mit einem Leistungsverbrauch von ungefähr 100mW, 200mW und 1W bei 230VAC. Die genauen Werte der Widerstände finden sich im Anhang dieses Dokumentes.

5. Testaufbau

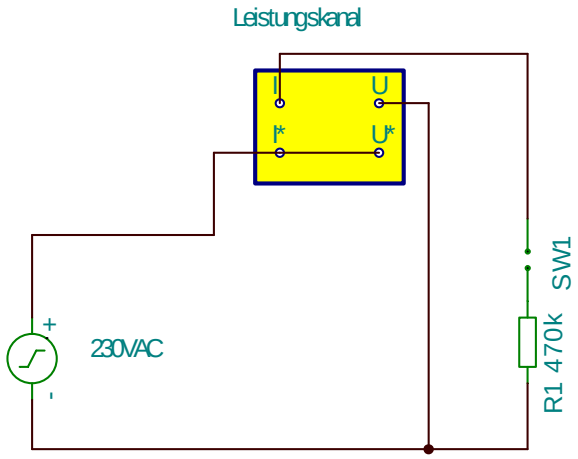
Die Grundidee war eine Steckerleiste zu nehmen und intern so zu verdrahten, dass eine Glühlampe und ein Widerstand eingesteckt werden können. Dabei sollen alle nötigen Messpunkte(U, I, I*..) an Steckdosen der Steckerleiste mit Laborkabeln abgegriffen und zum Leistungsmessgerät geführt werden können. Ein Bild und ein Schema der Steckerleiste finden sich im Anhang dieses Dokumentes.

5.1. Messungen

5.1.1. 100mW Erkennung

Zuerst wurde ein Testaufbau erstellt wo sichergestellt wurde, dass das LMG 500 Leistungsdifferenzen von 100mW erkennen kann mit der geforderten Genauigkeit. Dazu wurde ein Widerstand von [2]464.080KOhm verwendet, an welchem bei 230VAC 114mW Leistung abfallen. Mit der geeigneten Konfiguration des Messgerätes wurde eine extreme Genauigkeit von +-4mW erreicht. Bei den anderen Messgeräten (Metrahit 29s und PM3000) wurde bei der unten aufgezeichneten Schaltung die Leistung aufgrund der Auflösung der Geräte nicht erkannt. Dies ist auch verständlich, fliesst doch gerade mal ein Strom von 0.5mA.

[2] Wert aus Widerstandsausmessung im Anhang

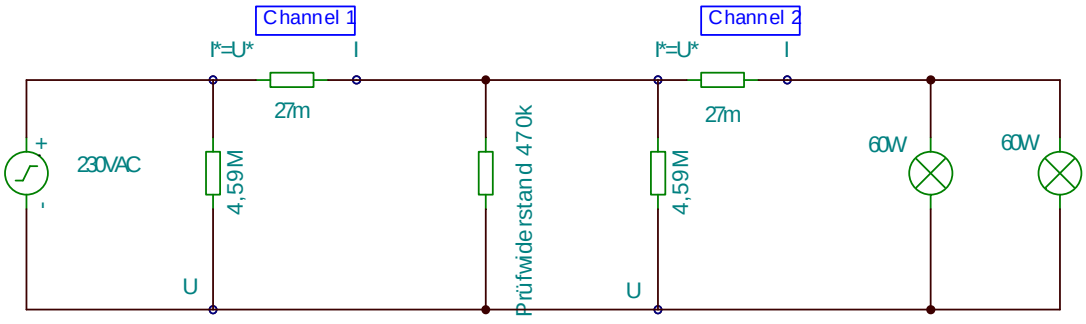


5-1 100mW-Messung mit 1 Kanal

5.1.2. Leistungsdifferenzmessung

In einem weiteren Schritt wurde nun mit Hilfe einer speziell verdrahteten Steckerleiste und 2 LMG 500-Kanälen eine Leistungsdifferenzmessung durchgeführt. Mit Kanal 1 wurde die gesamte Leistungsaufnahme der Schaltung gemessen. Mit Kanal 2 wurde die Leistungsaufnahme der Glühlampen gemessen. Wenn man nun die Wirkleistung von Kanal 2 von der gemessenen Wirkleistung in Kanal 1 abzieht, erhält man die Differenz, sozusagen die Leistung die am Prüfwiderstand abfällt. In Abbildung 5-2 ist ersichtlich wie die Messung durchgeführt wurde.

Auch in dieser Messung zeigte sich, dass das LMG500 bei einer Last von 120W fähig ist, extrem kleine Leistungsdifferenzen zu messen. Dazu wurden zuerst einfach die Lampen als Last angeschlossen. Ausgenommen von den im nächsten Unterkapitel beschriebenen Störgrössen zeigten beide Kanäle die gleiche Leistung an.
In einem zweiten Schritt wurde ein Widerstand zwischen die beiden Kanäle gesteckt, und sofort war ersichtlich, dass der Kanal 1 eine grössere Wirkleistung anzeigte als Kanal 2. Dies funktionierte auch beim 470KOhm-Widerstand, welcher bei 230VAC nur gerade 114mW Leistung verbraucht.



5-2 Test Differenzmessung

Da im Messgerät für diese Anwendung kein Modus programmiert ist bei welchem der Kanal 1 automatisch die Innenwiderstände des Kanals 2 berücksichtigt, mussten diese in die Messung mit einbezogen werden.

5.2. Eliminierung der Störgrössen

Durch die Innenwiderstände vom Kanal 2 resultieren zwei Störgrössen. Zum einen fällt eine mehr oder weniger (abhängig von der Spannungsversorgung) konstante Leistung am Innenwiderstand des Spannungskanals(4.59MOhm) ab. Bei 230VAC ist dies ungefähr 11.5mW.
Zudem gibt es eine Verlustleistung die proportional zum Strom wächst. Nämlich die Verlustleistung am Stromkanalwiderstand. Bei einem Bereich von 0-1.2 Ampere ist dieser beim LMG 500 27mOhm. Bei kleinen Strömen schlägt sich dies nicht gross auf den Messwert in Kanal 1 aus. Wenn aber ein Strom von 500mA durch diesen Messwiderstand fliesst, misst der Kanal 1 doch schon fast 7mW zuviel.

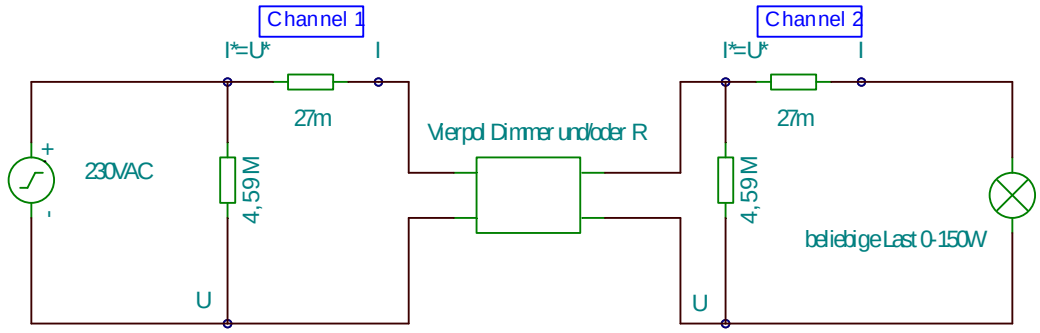
Diese Formeln wurden in Excel verwendet um diesen Fehler zu korrigieren. Für jeden Messwert wurden dabei die aktuellen Effektivwerte des Stromes und der Spannung in die Formel eingesetzt.

(5.1) Verlustleistung im Stromkanal: $P_{Stromkanal}[W] = I2trms[A]^2 * 0.027[Ohm]$

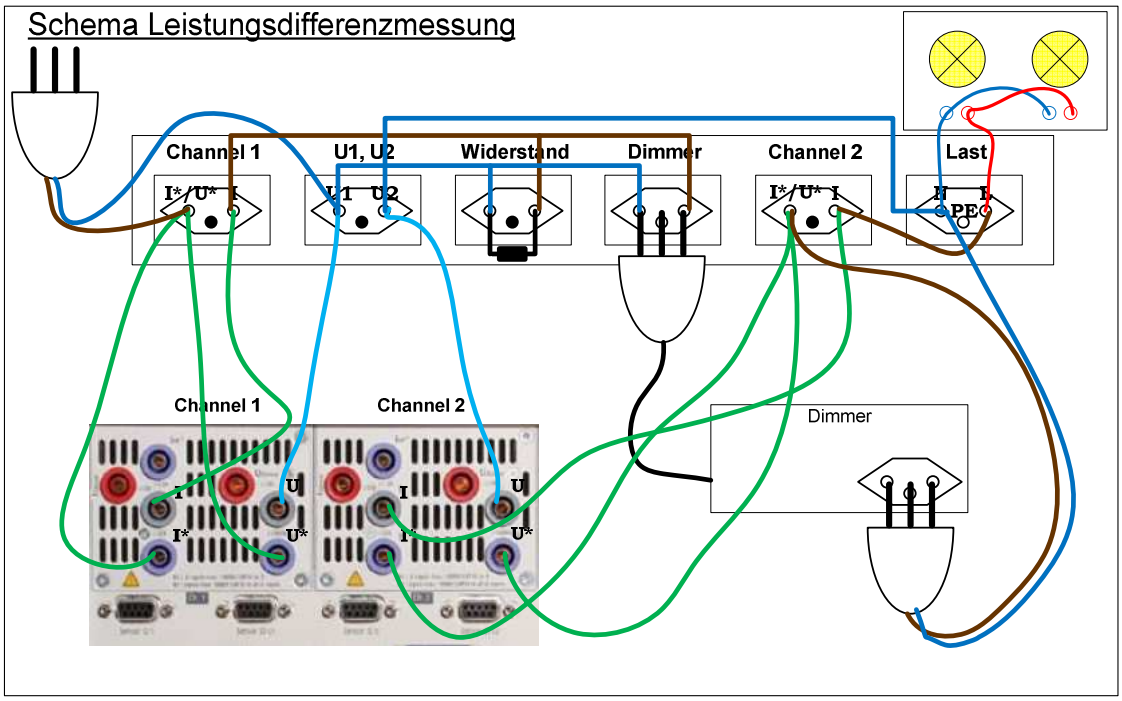
(5.2) Verlustleistung im Spannungskanal: $P_{Spannungskanal}[W] = \frac{U2trms[V]^2}{4.59[MOhm]}$

6. Messungen mit definitivem Aufbau

Hier werden zwei Schemas abgebildet, die zeigen wie der Aufbau aussieht. Fotos dazu befinden sich im Anhang. Die hier abgebildeten Schemas gelten nur, wenn die Stromkanäle der beiden Messkanäle auf den Bereich 0-1.2A eingestellt werden. Folglich wurden alle folgenden Messungen mit dieser Einstellung gemacht.



6-1 definitiver Aufbau Schema



6-2 Verkabelung mit Steckerleiste

Als klar war, dass das LMG 500 aufgrund der Testmessungen alle Anforderungen erfüllt, wurde der Leistungsprüfstand bestehend aus der umgebauten Steckerleiste verbessert und fest auf einem Brett montiert. Zusätzlich wurde noch ein zweites Kabel aus der Steckerleiste geführt, das direkt am Dimmerausgang eingesteckt werden kann(siehe Abbildung 6-2). Nun konnte mit weniger Laborkabeln gearbeitet werden als dies zuvor der Fall war. Da nun in der Steckerleiste intern bereits alles richtig verdrahtet ist, braucht man lediglich 8 Laborkabel für den Anschluss der beiden Kanäle des LMG 500. Jedoch vergrösserten sich dabei die Leiter- und Kontaktwiderstände. Näheres zu diesem zusätzlichen Störfaktor und dessen Berücksichtigung in den Messungen wird in Kapitel 6.2 beschrieben.

6.1. Messwiderstände

Die drei im Anhang spezifizierten Widerstände wurden benötigt, um die Genauigkeit des LMG 500 zu bestimmen. Je ein Widerstand wurde in die Steckerleiste gesteckt und die Leistung gemessen. Dabei wurden alle 500ms Werte vom LMG 500 auf den PC übertragen. Das wurde während 15 Sekunden gemacht und die so erhaltenen Werte mit den berechneten Werten nach untenstehender Formel verglichen.

$$(6.1) P_{Widerstand} = \frac{Utrms^2}{R_{Widerstand}}$$

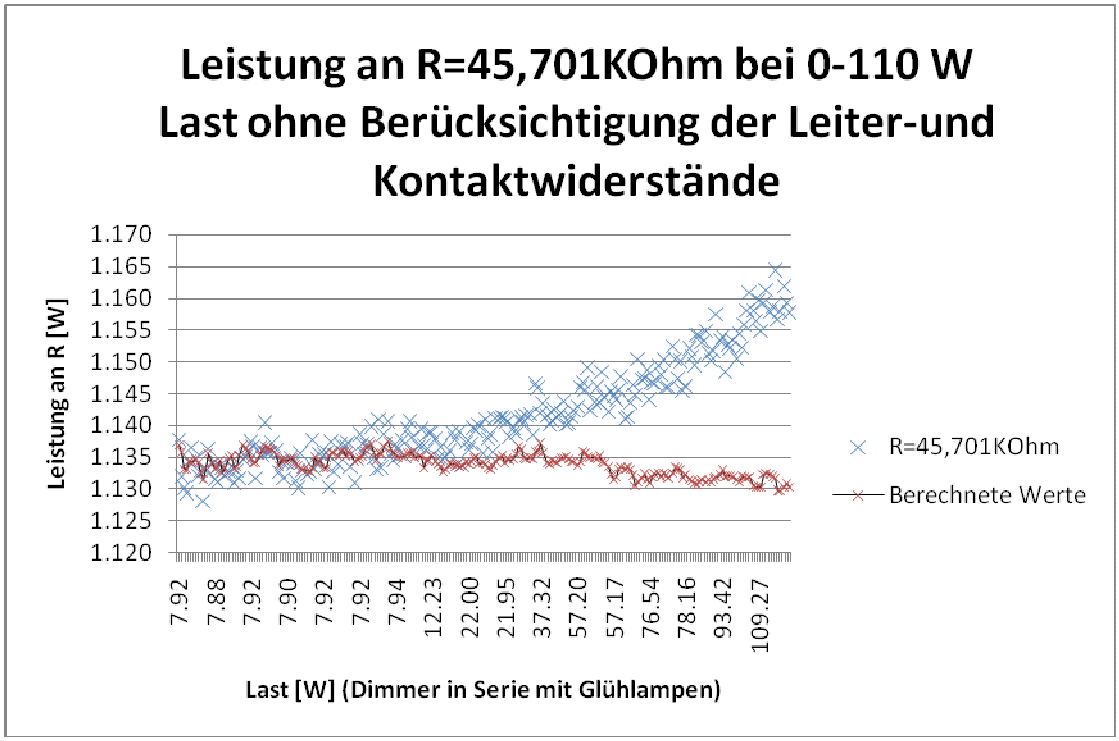
Für den 464.080[KOhm] und den 264.870[KOhm]-Widerstand wichen die gemessenen von den gerechneten Werten nur gerade um +-5[mW] ab. Beim 45.701[KOhm]-Widerstand war die Abweichung mit +-15[mW] etwas grösser, jedoch immer noch im geforderten Bereich von +-25[mW].

Die Daten zu den Messungen sind der Excel-Datei „Daten_Leistung_an_R's.xls“ zu entnehmen.

6.2. Variable Last 0-120Watt

Als nächste Messung wurde die Messung welche von den Leistungsgrössen her am ehesten die digitalSTROM®-Komponenten simuliert, durchgeführt. Das Kabel welches normalerweise vom Dimmerausgang kommt, wurde in der Steckerleiste in die Steckdose „Dimmer“ gesteckt. Der Dimmer wurde mit den Lampen in Serie geschaltet über die Steckdose „Last“ angeschlossen. In die Steckdose „Widerstand“ wurden die verschiedenen Widerstände eingesetzt.
Der Dimmer wird mit dem USB-DMX-Modul vom Notebook aus gesteuert, wobei der DMX-Wert von 0 alle 10 Sekunden um 25 erhöht wird bis der Wert 255(100%) erreicht. Während dieser Zeit wurden die gewünschten Messwerte alle 500ms vom LMG 500 auf den PC übertragen.

6.2.1. Normal

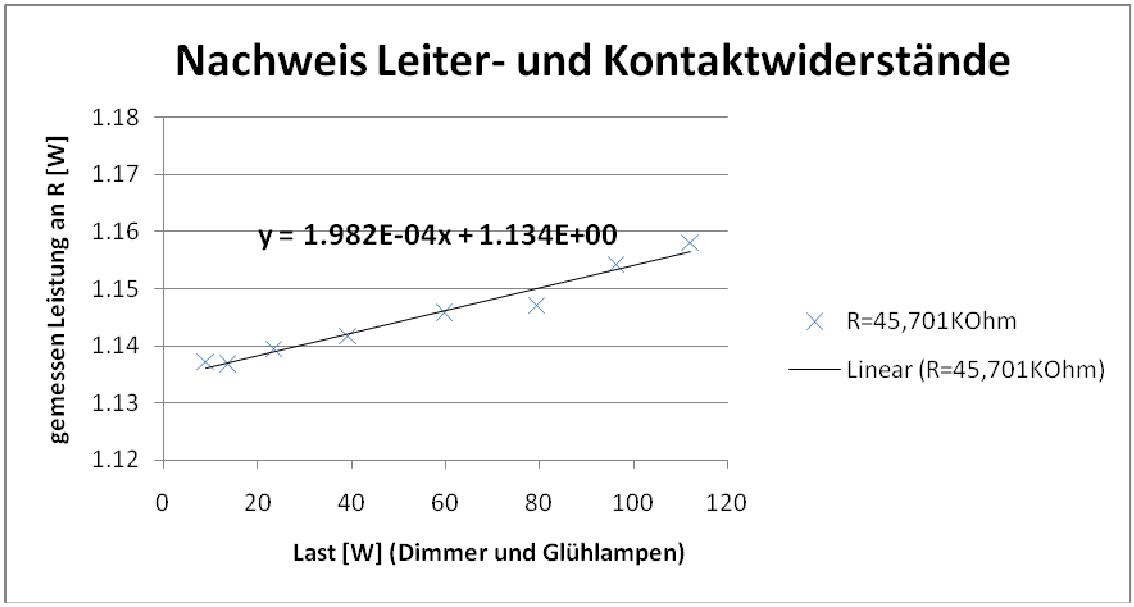


6-3 0-120W_Normal_ohneKont.Wid:_R47K

An den so durchgeführten Messungen ist hier(Abb. 6-3) exemplarisch mit dem 45.701[KOhm]-Widerstand gezeigt, dass die gemessene Leistungsdifferenz mit der Zunahme des Stromes proportional ansteigt. Dies, weil wie zuvor beschrieben, die Leiter- und Kontaktwiderstände nicht berücksichtigt wurden.
Bei der Abbildung 6-3 sind jedoch die Messkanal-Innenwiderstände, welche in Kapitel 5.2 beschrieben wurden, bereits berücksichtigt.
Auf der x-Achse ist die Leistung der Glühlampen mit dem Dimmer dargestellt und auf der y-Achse sind die jeweils dazugehörenden Werte der Leistung die im Widerstand in Wärme umgesetzt wird.
In (6.2) und (6.3) wird gezeigt wie die zwei Kurven zustande kommen.

$$(6.2)\ gemessene\ Werte[W]_{blau} = (P1[W] - P2[W]) - I[A]^2_{trms2} * 0.027[Ohm] - \frac{U[V]^2_{trms2}}{4.59[MOhm]}$$

$$(6.3)\ Berechnete\ Werte[W]_{rot} = \frac{U[V]^2_{trms1}}{Widerstandswert[Ohm]}$$



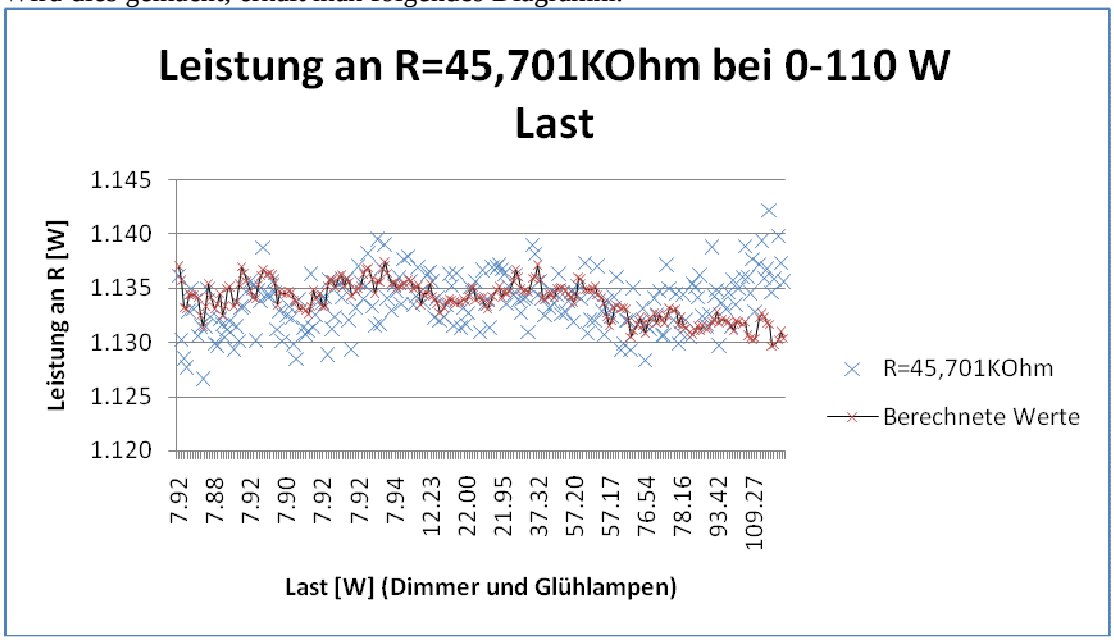
6-4 Nachweis Leiter- und Kontaktwiderstände

Mit obiger Grafik wird gezeigt, dass die Abweichung mit zunehmender Last proportional grösser wird. Durch Zeichnen einer linearen Kennlinie mit Excel erhält man die Steigung der Kurve. Die Steigung (1.982E-04) multipliziert mit P2 ist der Faktor, welcher von den blauen y-Werten in 6-3 abgezogen werden muss.

Die Formel für die Leistung an der blauen Kurve sieht nun wie folgt aus:

$$(6.4) Leistung\ an\ R[W] = (P1[W] - P2[W]) - I[A]^2_{trms2} * 0.027[Ohm] - \frac{U[V]^2_{trms2}}{4.59[MOhm]} - P2[W] * 1.982E-4$$

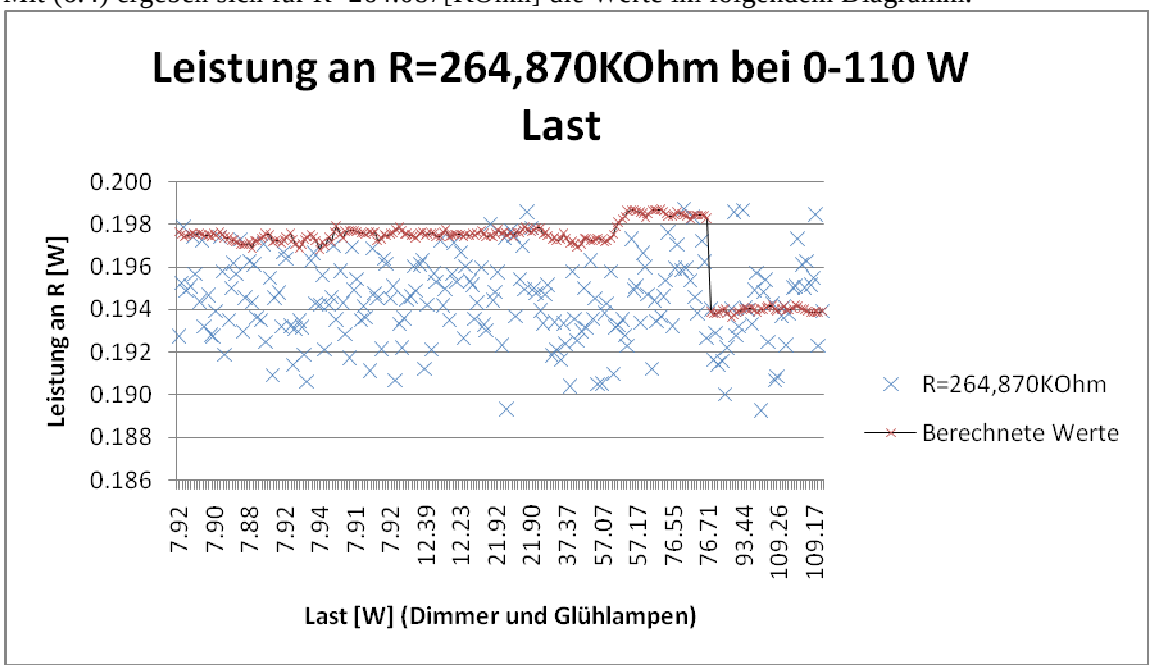
Wird dies gemacht, erhält man folgendes Diagramm:



6-5 0-120W_Normal_R47K

Im obigen Diagramm ist eine klare Verbesserung gegenüber der Kurve in 6-3 zu erkennen. Nun musste aber die gleiche Formel auch auf die Leistungskurven der anderen Widerstände angewendet werden.

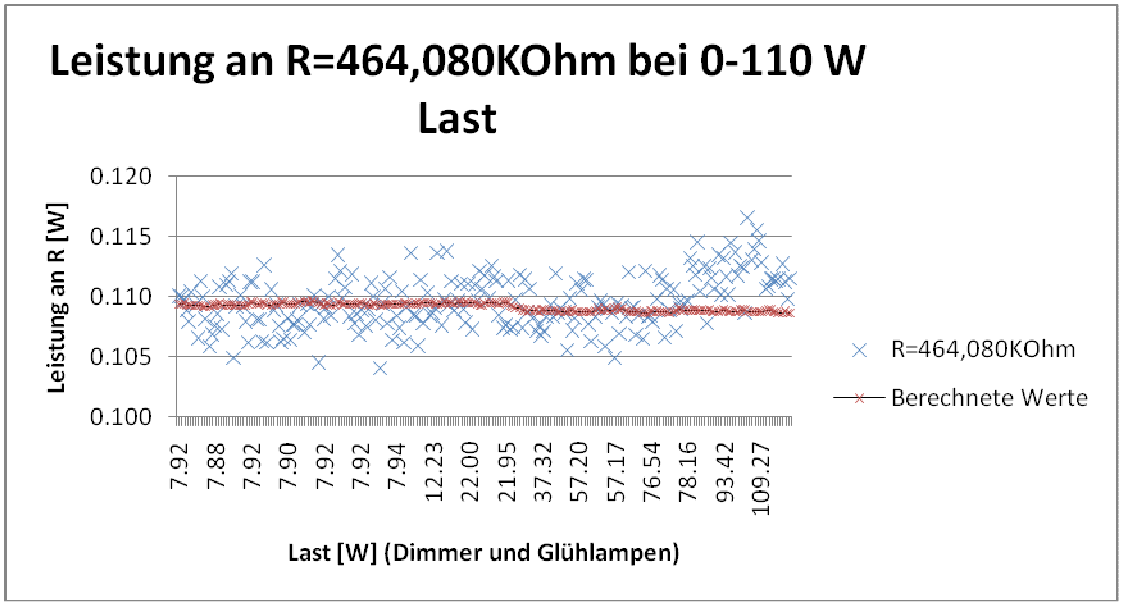
Mit (6.4) ergeben sich für R=264.087[KOhm] die Werte im folgendem Diagramm:



6-6 0-120W_Normal_R270K

Wie man sieht sind die Abweichungen minimal, jedoch gibt es auch bei den berechneten Werten hier einen Sprung. Dieser kommt daher, dass bei den gemachten Messungen keine konstante Quelle welche 230VAC lieferte zur Verfügung stand. Somit hing der Verbrauch immer von dem momentanen Netzzustand ab. Die Netzspannung schwankte bei den Messungen zwischen Utrms 224[V] bis Utrms 228[V].

Mit (6.4) ergeben sich für R=464.080[KOhm] die Werte im folgenden Diagramm:



6-7 0-120W_Normal_R470K

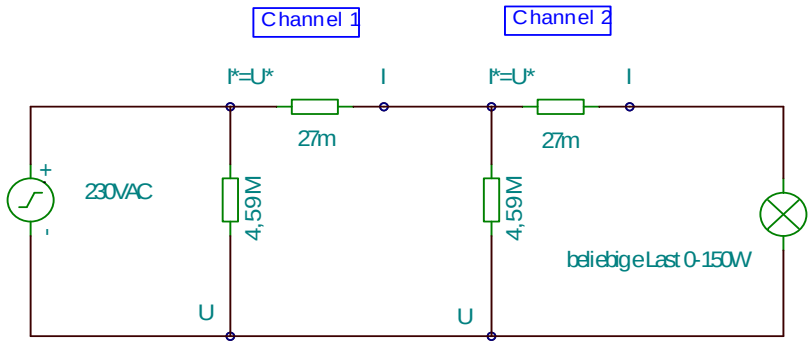
Zusammenfassung der Messungen:

Widerstand[KOhm]	Leistung[W]	Unsicherheit[mW]
45.701	1.133	+- 10
264.870	0.196	+- 10
464.080	0.109	+- 10

6.2.2. Mit Brücken am Messgerät

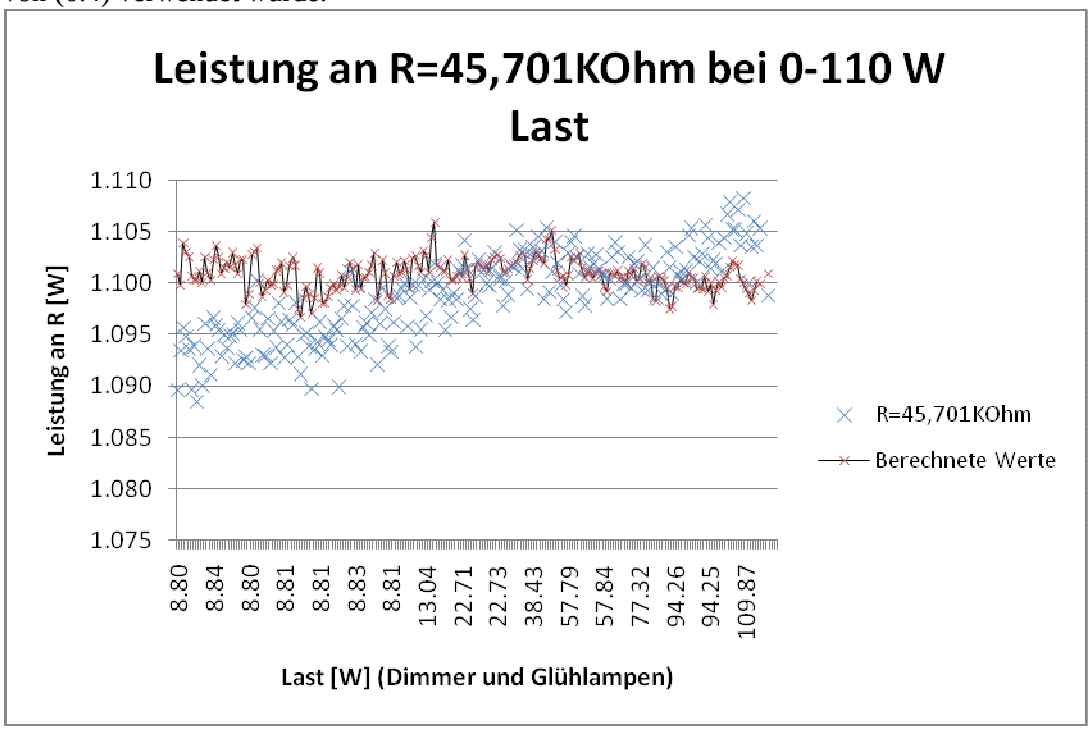
Um zu beweisen, dass die in (6.4) korrigierte Leistung wirklich mit den Leiter- und Kontaktwiderständen zu begründen ist, wurden in einer weiteren Messung direkt hinten am Messgerät die Eingänge I1 und I2* sowie U1 und U2 mit Laborkabeln verbunden. Somit entfallen die Widerstände in den Kabeln und Leitern von und zum Dimmer.

In Abb. 6-8 sieht man wie das im Schema zur Messung aussieht.

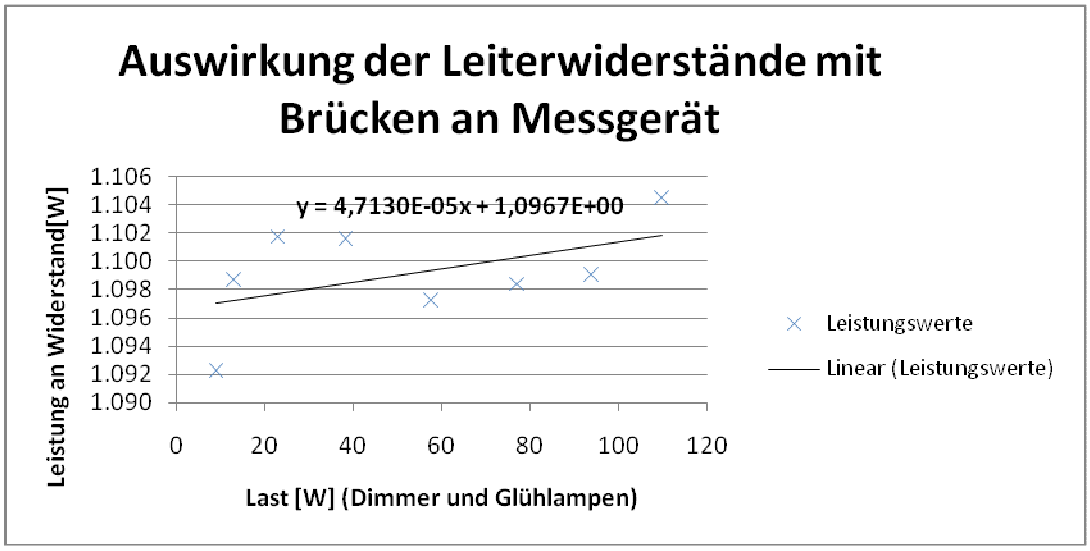


6-8 Schema_mit_Brücken_am_LMG500

In Abbildung 6-9 sieht man sehr schön, dass man mit dieser Schaltung genauere Werte erhält, auch bei grösseren Lasten. Zu betonen ist, dass bei den folgenden Diagrammen wieder die Formel (6.2) anstelle von (6.4) verwendet wurde.



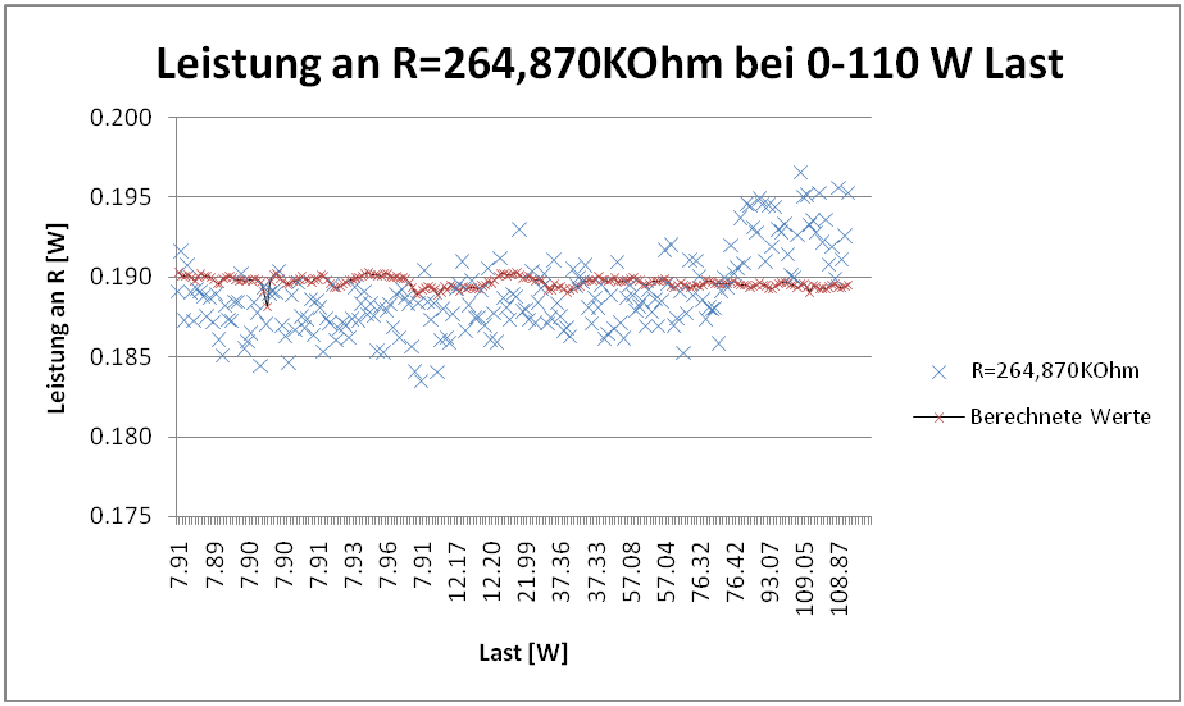
6-9 0-120W_Brücke_R47K



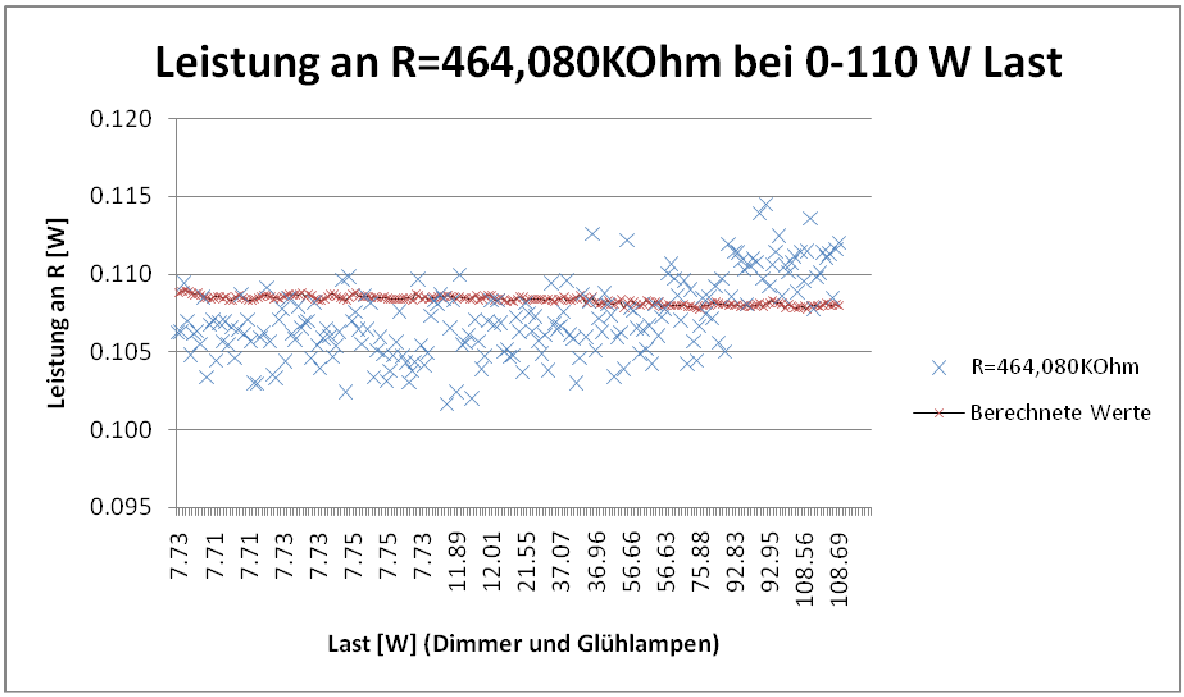
6-10 Beweis_Leiterwiderstände_mit_Brücke

Im Vergleich zu Abbildung 6-4 sieht man in Abbildung 6-10, dass die Abweichung mit steigender Last beträchtlich kleiner ist. Es sind natürlich immer noch Leitungswiderstände vorhanden, aber viel kleinere. Die Steigung der Kurve ist mit 4.713E-05 rund 4-mal kleiner, als bei Abb. 6-4.

Zur Vervollständigung sind in Abb. 6-11 und Abb. 6-12 die Kurven von den anderen beiden Widerständen ebenfalls abgedruckt.



6-11 0-120W_Brücke_R270K



6-12 0-120W_Brücke_R470K

Zusammenfassung der Messungen:

Widerstand[KOhm]	Leistung[W]	Unsicherheit[mW]
45.701	1.102	+- 12
264.870	0.190	+- 10
464.080	0.108	+- 10

Man sieht in der Zusammenfassung, dass mittels der Brücken am Messgerät fast die gleiche Genauigkeit erreicht werden kann wie wenn man bei der Messung ohne Brücken die Leiter- und Kontaktwiderstände berücksichtigt.

6.3. Messung Dimmerverlustleistung

Die Messung der Dimmerverlustleistung wird in Kapitel 7 genau dokumentiert, da Kapitel 7 als Vorlage für den Report der Digitalstromkomponenten dienen soll.

Zu bemerken ist, dass da wieder die unter 6.2.1 angewendete Methode zum Einsatz kommt, da hier ja der Dimmer wieder zwischen die beiden Kanäle kommt. Somit können I1 und U2*, beziehungsweise U1 und U2, nicht mehr verbunden werden, da dann die Leistung des Vierpols „Dimmer“ nicht mehr korrekt gemessen werden könnte.

7. Report Leistungsmessung mit DMX-Dimmer

Die Anleitung um die Messung durchzuführen findet sich im Anhang A.

Dieser Report soll später im Jahr 2008 wieder gebraucht werden können, um die Messung an den digitalSTROM®-Komponenten zu dokumentieren.

7.1. Allgemeines

7.1.1. Aufgabenstellung

Es soll der Leistungsverbrauch eines Vierpols(in diesem Fall ein Dimmer) im Haushaltsnetz(230VAC), welcher eine Last von 0-120W steuert, gemessen werden. Dazu wird mittels eines mehrkanaligen Präzisionsleistungsmessgerätes am Ein- und Ausgang des Dimmers die Wirkleistung gemessen. Die Differenz von den beiden Kanälen ist unter Berücksichtigung möglichst aller Störfaktoren die Leistung welche der Dimmer verbraucht. Diese muss auf +- 25mW genau gemessen werden können. Die Genauigkeit des Messgerätes wurde allerdings bereits zuvor ermittelt, da man mit dem Dimmer keine wirkliche Referenz hat. Es ist nicht spezifiziert wieviel Leistung ein solcher Dimmer verbraucht.

7.1.2. Verwendete Messgeräte

Zur Ausmessung der Widerstände:
Hersteller: Metrahit
Typ: 29S
Seriennummer: 0A4323

Zur Leistungsmessung:
Hersteller: ZES Zimmer, Deutschland
Typ: LMG500
Seriennummer: 113212

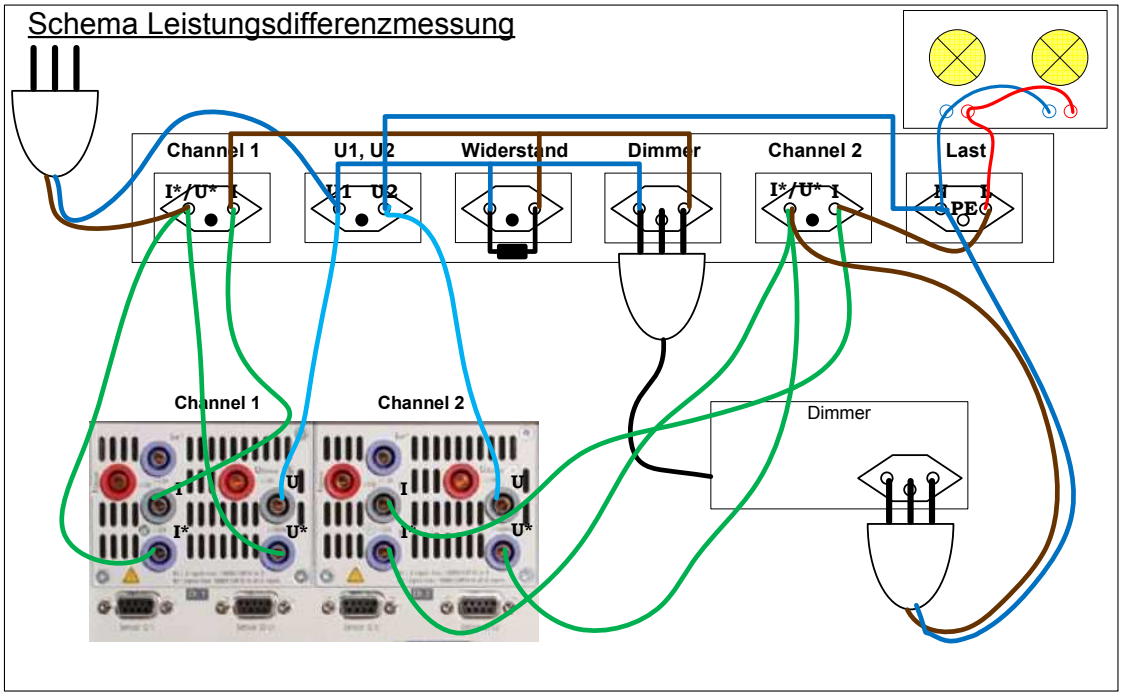
Einstellungen(Bereiche):
- 0-1.2A Stromkanal
- 0-400V Spannungskanal(wegen Spannungsspitzen vom Dimmer)

Genauigkeit Leistungsdifferenzmessung bei 120 W:
Wert[W] +- 0.01%

7.1.3. Umgebungsbedingungen

Temperatur: Raumtemperatur (23°C +- 1°C)
Umgebungsfeuchte: nicht überwacht

7.2. Messaufbau



Im Aufbau sieht man zwei Leistungsmesskanäle des LMG 500, die zur Messung benützte speziell verdrahtete Steckerleiste, den Dimmer und die Glühlampen. Zudem sieht man auch, wo die zum Dimmer parallel geschalteten Widerstände eingesetzt werden können. Zur erhöhten Sicherheit wurden die Widerstände in Steckergehäuse geschraubt, womit sie ohne weiteres während der Messung ein- oder ausgesteckt werden können.

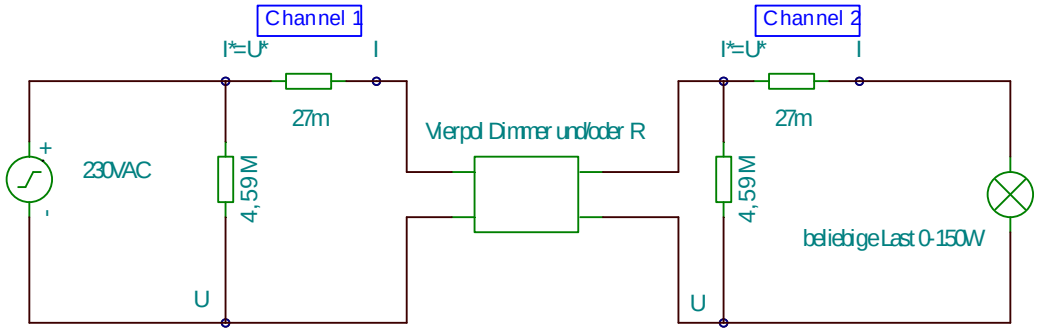
7.3. Messvorgehen

Die Komponenten werden gemäss dem Messaufbau verbunden. Die Konfiguration des Messgerätes wird richtig eingestellt. Danach werden vom Messgerät alle 500ms die nötigen Werte für die Messung an den PC übertragen. Der Dimmer wird über das USB-DMX-Modul angesteuert, so dass die Lampen langsam(Intervall 10sec) von 0-100W Leistung verbrauchen. Danach werden die Messdaten in Excel mit der in Kapitel 7.4 beschriebenen Fehlerkorrektur bearbeitet und eine Grafik erstellt wo erscheint, wie sich der Leistungsverbrauch des Dimmers ändert, wenn er von 0 -100% angesteuert wird.

7.4. Fehlerkorrektur in Excel

Der gesamte Messaufbau bringt drei Störgrössen mit sich:

- Innenwiderstand Spannungskanal Channel 2(4.59[MOhm])
- Innenwiderstand Stromkanal Channel 2(0.027[Ohm])
- Leitungs- und Kontaktwiderstände „hinter“ Channel 1

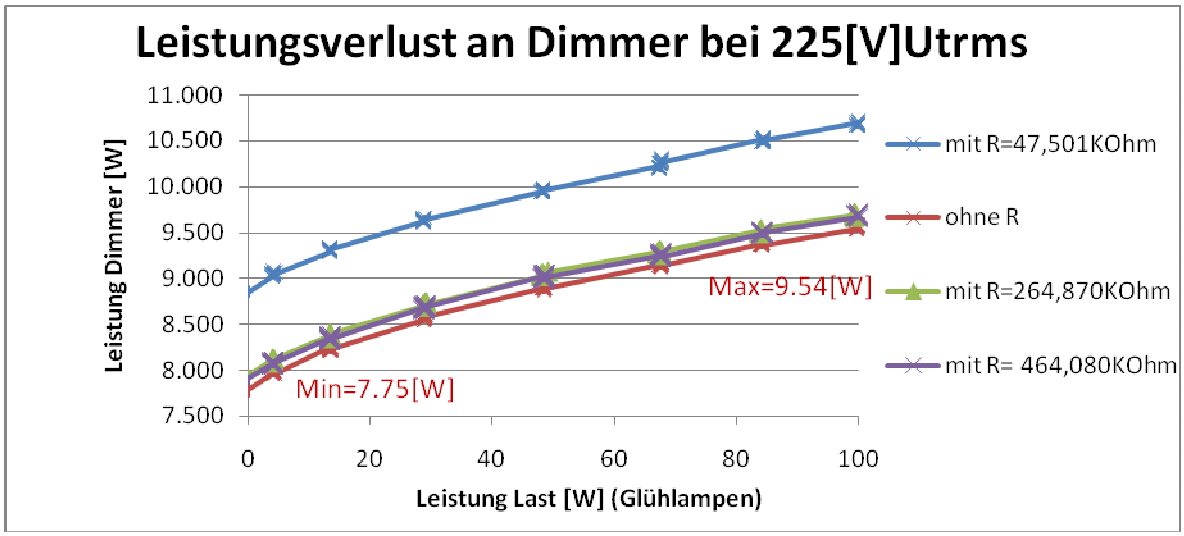


In obiger Abbildung sind die Störgrössen bis auf die Leiter- und Kontaktwiderstände ersichtlich. Die Verlustleistung am Dimmer ist gemäss dem Messaufbau: Wirkleistung Channel1(P1) – Wirkleistung Channel2(P2)
Von dieser Differenz müssen nun aufgrund der Innenwiderstände drei Grössen abgezogen werden. Die Werte welche wegen den Innenwiderständen abgezogen werden sind selbsterklärend. Der letzte Subtrahend jedoch, entstammt aus einer vorherigen Messung wo der Fehler aufgrund der Leiter- und Kontaktwiderstände in Kap. 6.2.1 bestimmt wurde.

Folgende Formel wird nun also auf jeden Wert P1 in Excel angewendet:

$$Leistung\ an\ Dimmer[W] = (P1[W] - P2[W]) - I[A]^2_{Irms2} * 0.027[Ohm] - \frac{U[V]^2_{Irms2}}{4.59[MOhm]} - P2[W] * 1.982E-4$$

7.5. Resultate



Man sieht im obigen Diagramm die Kurven des Dimmerverbrauchs bei veränderter Last. Unser DMX-Dimmer verbraucht im Minimum 7.75[W] wenn er die Lampen nicht ansteuert und Maximum 9.54[W] falls die Lampen voll glühen.

Die blaue, violette und grüne Kurve stellen den Verbrauch des Dimmers + einem parallel geschalteten Widerstand dar. Die anderen Kurven sind aber mit Vorsicht zu geniessen, da die Messung nicht zur gleichen Zeit stattfinden konnte und sich der Verbrauch des Dimmers aufgrund der veränderten Netzspannung jeweils änderte. Dem entgegen geholfen kann nur werden, wenn in künftigen Messungen eine konstante Spannungsversorgung mit 230VAC verwendet wird.

7.6. Evaluierung der Resultate

Erstaunlicherweise braucht der Dimmer bei einer Last von 100W 2W mehr an Leistung als wenn er im Leerlauf läuft. Vor allem zuviel ist aber die Leistung von 7.75W die der Dimmer im Leerlauf verbraucht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es ein 6-Kanal Dimmer ist, der mit DMX angesteuert wird. Somit muss er auch noch eine gewisse interne Elektronik und ein Netzteil für den Mikroprozessor mit Strom versorgen. Die Genauigkeit ist insofern mit +-25 mW gewährleistet, da zuvor während dem Projekt Referenzmessungen mit den vermessenen Widerständen und variabler Last durchgeführt wurden.

8. Ausblick

Der errichtete Leistungsprüfstand für Leistungsdifferenzmessungen im einphasigen Haushaltsnetz kann in Verbindung mit einem LMG500 im Juni 2008 für die Vermessung der digitalSTROM®-Komponenten verwendet werden. Die Excel-Vorlage und die bereitgestellte Konfigurationsdatei für das Messgerät können dazu verwendet werden.
Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Messungen schwankte die Netzspannung immer. Dies könnte evtl. durch eine USV oder eine Synchronmaschine, die als Generator benutzt wird, realisiert werden.

9. Quellen/Referenzen

- Benutzerhandbuch LMG 500 [2007]
- LMG-500 Demo-Set, Beschrieb des Messgerätes [2007]

A Anhang A: Messresultate etc.

I. Abbildungsverzeichnis

3-1 Vorgabe Messschaltung 5
4-1 LMG 500 Frontansicht 7
5-1 100mW-Messung mit 1 Kanal 9
5-2 Test Differenzmessung 9
6-1 definitiver Aufbau Schema 10
6-2 Verkabelung mit Steckerleiste 11
6-3 0-120W_Normal_ohneKont.Wid:_R47K 13
6-4 Nachweis Leiter- und Kontaktwiderstände 14
6-5 0-120W_Normal_R47K 14
6-6 0-120W_Normal_R270K 15
6-7 0-120W_Normal_R470K 16
6-8 Schema_mit_Brücken_am_LMG500 16
6-9 0-120W_Brücke_R47K 17
6-10 Beweis_Leiterwiderstände_mit_Brücke 17
6-11 0-120W_Brücke_R270K 18
6-12 0-120W_Brücke_R470K 18

II. Widerstandsausmessung mit Metrahit 29s

Zuerst wurden die Widerstände während 3 Minuten in die Steckerleiste gesteckt, damit sie bei „Betriebstemperatur gemessen werden konnten.

18.02.2008 10:27 Uhr in B330 mit Metrahit 29s(0A4323)

270kOhm:

In[kOhm]

264.867
264.870
264.869
264.870
264.873

Mittelwert: **264.870[kOhm]** Leistung bei 230VAC: **0.200W**

18.02.2008 10:21 Uhr in B330 mit Metrahit 29s(0A4323)
47kOhm:

In[kOhm]
45.699
45.699
45.700
45.704
45.702

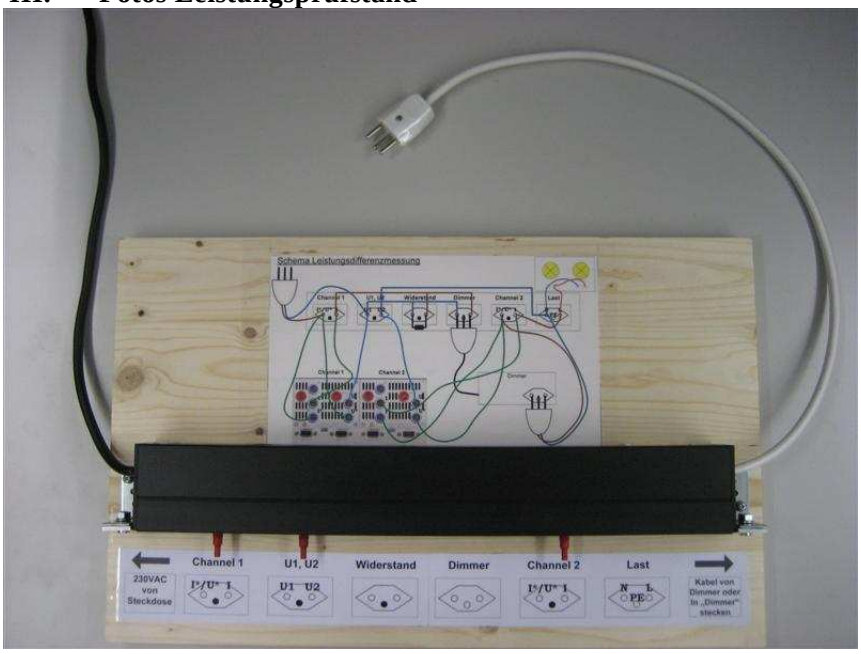
Mittelwert: **45.701[kOhm]** Leistung bei 230VAC: **1.158W**

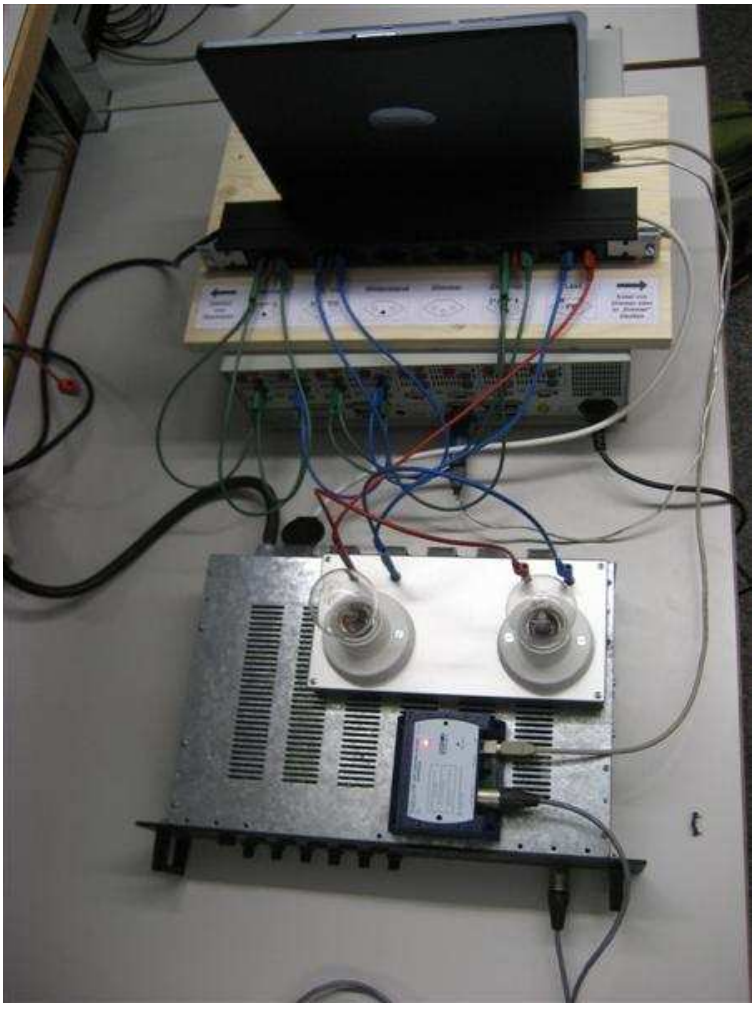
18.2.2008 10:17Uhr in B330 mit Metrahit 29s (0A4323)
470kOhm:

In [kOhm]
464.10
464.06
464.07
464.10
464.08

Mittelwert: **464.08[kOhm]** Leistung bei 230VAC: **0.114W**

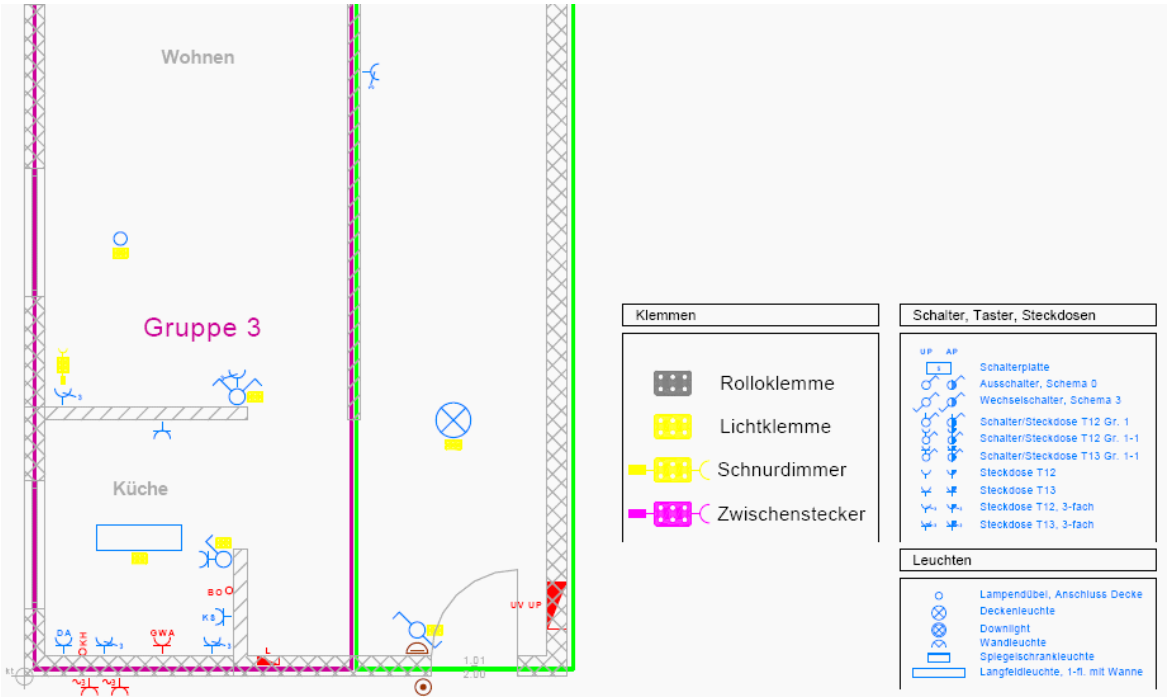
III. Fotos Leistungsprüfstand

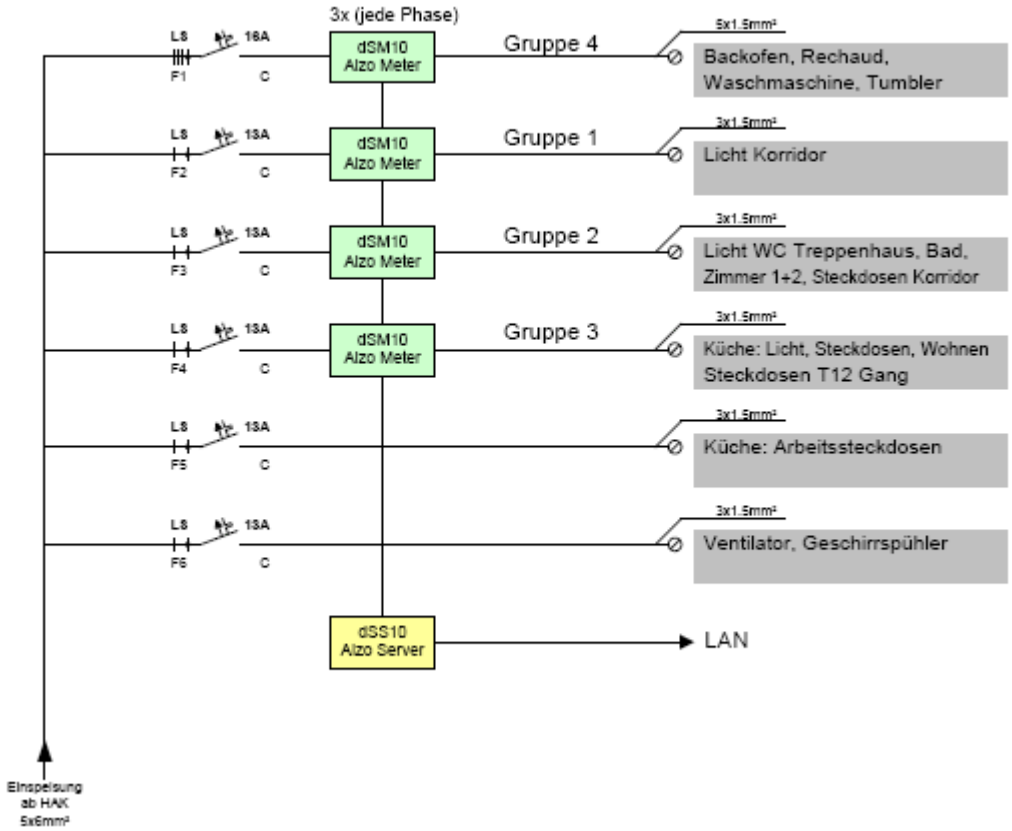




IV. Anleitung für Differenzleistungsmessung

1. Messaufbau nach Schema verdrahten
2. Messgerät einschalten und 1h aufwärmen lassen
3. Messgerät und DMX-Modul mit Notebook verbinden
4. DMX-Modul mit Dimmer verbinden
5. Software TERM-L5 2 starten. Mit Messgerät Verbindung aufnehmen
6. Wenn die Verbindung zustande gekommen ist, die Konfigurationsdatei „1min50_400V_1,2A.tl5“ ins Messgerät laden, dabei bei Aufforderung der Software den Pfad für das .txt-File angeben in welchem die Messwerte gespeichert werden.
7. „Initialise LMG 500“ drücken, LMG 500 wird konfiguriert
8. Software DMX-demo starten und mit „File“ „Open Show“ das File „Show_Dimmer_0-255_25erSchritt_20s.txt“ öffnen
9. Im TERM-L5-Fenster nun den Start-Knopf drücken
10. Gleich danach auch im DMX-demo „Play“ drücken
11. Nun sollte TERM-L5 Messwerte auslesen und das DMX-Signal an den Dimmer wird alle 10 Sekunden um 25 erhöht.
12. Warten, bis die Messung zu Ende ist (ca. 1min 50 sec)
13. Danach können die beiden Programme geschlossen werden
14. Microsoft Excel-Vorlage „Vorlage_DigitalStromKomponenten.xls“ öffnen
15. In Feld F3 klicken und „Daten“-„externe Daten abrufen“-„aus Text“ wählen
16. Den Pfad des .txt-Files mit den Messwerten angeben
17. alle Messwerte sollten nun importiert sein, wichtig ist nun, da die Messwerte über 500ms gemittelt sind, nach „Übergangswerten“ zu suchen und diese zu löschen.
18. In dem Diagramm sollte nun die gewünschte Kurve sichtbar sein.


Wohnen
Gruppe 3
Küche
Klemmen
Rolloklemme
Lichtklemme
Schnurdimmer
Zwischenstecker
Schalter, Taster, Steckdosen
Schalterplatte
Ausschalter, Schema 0
Wechselschalter, Schema 3
Schalter/Steckdose T12 Gr. 1
Schalter/Steckdose T12 Gr. 1-1
Schalter/Steckdose T13 Gr. 1-1
Steckdose T12
Steckdose T13
Steckdose T12, 3-fach
Steckdose T13, 3-fach
Leuchten
Lampendübel, Anschluss Decke
Deckenleuchte
Downlight
Wandleuchte
Spiegelschrankleuchte
Langfeldleuchte, 1-fl. mit Wanne


3x (jede Phase)
L8
16A
C
F1
dSM10
Alzo Meter
Gruppe 4
5x1.5mm²
Backofen, Rechaud, Waschmaschine, Tumbler
13A
F2
Gruppe 1
3x1.5mm²
Licht Korridor
F3
Gruppe 2
Licht WC Treppenhaus, Bad, Zimmer 1+2, Steckdosen Korridor
F4
Gruppe 3
Küche: Licht, Steckdosen, Wohnen Steckdosen T12 Gang
F5
Küche: Arbeitssteckdosen
F6
Ventilator, Geschirrspühler
dSS10
Alzo Server
LAN
Einspeisung
ab HAK
5x6mm²